

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Révision du modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean

Sonya Lévesque, Patrick Plourde-Lavoie et Pascal Sirois



UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

Lévesque S., Plourde-Lavoie P., Sirois P. (2018). Révision du modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi.

Rapport de recherche

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

**Révision du modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel
dans le lac Saint-Jean**

Sonya Lévesque, Patrick Plourde-Lavoie et Pascal Sirois

En partenariat avec :



RioTinto

Département des sciences fondamentales,
Université du Québec à Chicoutimi, 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi,
Québec, G7H 2B1

REMERCIEMENTS

La mise à jour des connaissances sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean a été menée dans le cadre du *Plan de gestion 2011-2020 de la ouananiche, du doré jaune, de la lotte et de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean*. Nous remercions la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP), Hydro-Québec, la MRC du Domaine-du-Roy, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine, Produits forestiers Résolu et Rio Tinto pour leur contribution financière au plan de gestion.

Nous remercions aussi la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées (CREAE) de l'Université du Québec à Chicoutimi, la CLAP et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) pour les ressources investies dans le projet (personnel, matériel et données). Les auteurs remercient M. Marc Archer, directeur général de la CLAP, pour la révision du document.

Enfin, Sonya Lévesque et Patrick Plourde-Lavoie remercient le Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi de leur donner accès à un environnement de travail stimulant et à des ressources humaines, matérielles et techniques précieuses.

AVANT-PROPOS

Le premier rapport traitant des facteurs qui influencent l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean a été produit en 2005 : *Recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (Osmerus mordax) dans le lac Saint-Jean* (Sirois 2005). À l'issue de l'exercice, un modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan du lac Saint-Jean avait été proposé. Ce modèle visait à expliquer les relations complexes entre l'éperlan et les variables biotiques et abiotiques du milieu. Avec une décennie de données supplémentaires, il s'avère pertinent de faire la mise à jour de ces relations afin de vérifier et consolider les bases scientifiques du modèle conceptuel préalablement établi. Les connaissances sur l'éperlan du lac Saint-Jean se sont bonifiées au cours de la dernière décennie. De nouvelles variables seront ajoutées à cette version révisée du modèle conceptuel.

RÉSUMÉ

L'abondance de la ouananiche, un poisson d'intérêt sportif d'importance au lac Saint-Jean, est liée à l'abondance de sa proie préférentielle, l'éperlan arc-en-ciel. Puisque la gestion de la ouananiche repose essentiellement sur la disponibilité de l'éperlan, il est primordial de connaître les facteurs qui contrôlent le recrutement de ce dernier. L'objectif du présent rapport est de procéder à la mise à jour des facteurs environnementaux qui ont un effet sur le recrutement de l'éperlan dans le lac Saint-Jean (hydrologie, conditions météorologiques, prédation, relations intraspécifiques et interspécifiques). Les résultats ont révélé que l'abondance des saumoneaux, le débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin et la proportion de rafales du nord-ouest en juin sont inversement reliés au recrutement de l'éperlan, tandis que l'abondance du stock reproducteur a un effet positif. Aucune relation n'a été observée entre le recrutement de l'éperlan et le débit de la rivière Ashuapmushuan, le niveau du lac en mai et en juin, la durée de la saison de croissance, la température du lac en mai, en juin et en juillet, le cannibalisme des éperlans 1+ sur les jeunes de l'année, ainsi que l'abondance des omiscos. Le peu de données temporelles d'abondance du doré jaune ne permet pas d'évaluer l'effet de ce prédateur sur le recrutement de l'éperlan. Cependant, le coefficient de condition des dorés augmente avec l'abondance des éperlans 0+. On ne retrouve néanmoins pas de relation entre la croissance des jeunes dorés et l'abondance des éperlans 0+. L'élaboration d'un modèle prédictif de l'abondance des éperlans 0+ par régression linéaire multiple a révélé qu'il demeure difficile de prédire avec précision l'abondance de l'éperlan. L'abondance des saumoneaux jumelée au débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin constitue le meilleur modèle prédictif de l'abondance des éperlans 0+.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
AVANT-PROPOS	ii
RÉSUMÉ	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
SOURCE DES DONNÉES	3
Abondance de l'éperlan arc-en-ciel	3
Prédation	5
Hydrologie	7
Conditions météorologiques	8
Relations intraspécifiques	8
Relations interspécifiques	8
PRÉDICTION DE L'ABONDANCE DES ÉPERLANS 0+	9
RÉSULTATS ET DISCUSSION	11
MODÈLE CONCEPTUEL DU RECRUTEMENT	11
Effet de la prédation	11
Effet de l'hydrologie	16
Effet des conditions météorologiques	17
Effet des relations intraspécifiques	19
Effet des relations interspécifiques	22
PRÉDICTION DE L'ABONDANCE DES ÉPERLANS 0+	23
LE MODÈLE CONCEPTUEL DU RECRUTEMENT, EN RÉSUMÉ	25
CONCLUSION	28
RÉFÉRENCES	30
ANNEXES	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean développé par Sirois (2005).	2
Figure 2 : Relation entre l'abondance des éperlans 0+ et la croissance moyenne de l'écaille des ouananiches durant la première année en lac.....	4
Figure 3 : (A) Fluctuations de l'abondance des éperlans 0+ de 1984 à 1994 (ligne discontinue – estimée) et de 1995 à 2015 (ligne continue – observée). (B) Fluctuations de l'abondance des éperlans 1+ de 1995 à 2012. Le décompte de l'âge pour les éperlans d'un an et plus n'est pas disponible après 2012.....	5
Figure 4 : Fluctuations de l'indice d'abondance des saumoneaux de 1984 à 2015.....	7
Figure 5 : Proportion de proies ingérées par la ouananiche et le doré jaune (exprimée en pourcentage du volume) au lac Saint-Jean, de 1972 à 2006. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de spécimens analysé chaque année. Tiré de Plourde-Lavoie et Sirois (2016).	12
Figure 6 : (A) Fluctuations temporelles de l'abondance des éperlans 0+ (points noirs et ligne discontinue) et de l'indice des saumoneaux dans le lac Saint-Jean (points blancs et ligne continue) de 1984 à 2015. (B) La relation entre l'abondance des éperlans 0+ (échelle logarithmique) et l'indice saumoneaux est significative.	13
Figure 7 : Relation entre l'indice de condition de Fulton des dorés jaunes (points blancs pour les poissons matures et point noirs pour les immatures) et l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+.	14
Figure 8 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le débit moyen de la rivière Péribonka au cours de la première semaine de juin, de 1984 à 2015.....	16
Figure 9 : Relation entre l'abondance des éperlans 0+ (échelle logarithmique) et la proportion des rafales provenant du nord-ouest au cours du mois de juin.....	18
Figure 10 : La relation stock-recrutement chez l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. (A) La relation entre l'abondance des reproducteurs en fin d'été et l'abondance des larves au mois de juin précédent, pour 1998-1999 et 2001 à 2004. (B) La relation entre l'abondance des reproducteurs et celle des jeunes de l'année (0+) en fin d'été entre 1996 et 2012 ($R^2 = 0,42$; $p = 0,003$). Noter l'échelle logarithmique de l'axe des ordonnées (abondance des éperlans 0+).	20
Figure 11 : Relation entre la survie des jeunes éperlans de 0+ à 1+ en pourcentage et l'abondance des éperlans 1+ entre 1996 et 2011.....	22
Figure 12 : Résumé des facteurs qui influencent le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.	25
Figure 13 : Modèle conceptuel révisé du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean.	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des variables retenues pour élaborer le modèle du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.....	9
Tableau 2 : Modèles de croissance des dorés jaunes juvéniles tirés de Lévesque <i>et al.</i> (en préparation). Seules les variables significatives ont été retenues. Le n correspond au nombre d'années d'observations, le p donne la significativité du modèle, le $R^2_{\text{ajusté}}$ son pouvoir explicatif, et le critère d'information d'Akaike (AIC) indique le modèle le plus vraisemblable (un modèle de meilleure qualité présente un plus petit AIC). GDD correspond à la somme annuelle des degrés-jours au-dessus de 5 °C, DégelJJ au moment du départ des glaces en jours juliens et AbOsmo1+ à l'abondance des éperlans juvéniles. La croissance annuelle de l'otolithe des dorés est utilisée comme indicateur de la croissance réelle passée du poisson.	15
Tableau 3 : Modèles explicatifs de l'abondance des éperlans 0+ dans le lac Saint-Jean de 1984 à 2015. Le modèle retenu apparaît en gras. Le p donne la significativité du modèle, le $R^2_{\text{ajusté}}$ son pouvoir explicatif, et le critère d'information d'Akaike (AIC) indique le modèle le plus vraisemblable (un modèle de meilleure qualité présente un plus petit AIC). Le coefficient de chaque variable des modèles (Coeff.) ainsi que sa significativité sont indiqués.	23

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Comparaison de l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ de 1995 à 2015 mesurée sans et avec les données des stations riveraines. Les stations riveraines ont été ajoutées au suivi en 2000.....	36
Annexe 2 : Relation entre l'indice de condition de Fulton des dorés jaunes matures (points blancs) et immatures (points noirs) et l'abondance des éperlans arc-en-ciel d'un an et plus.	37
Annexe 3 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le niveau moyen du lac Saint-Jean pour les mois de mai et juin, de 1984 à 2015.....	38
Annexe 4 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le débit moyen de la rivière Ashuapmushuan au cours de la première semaine de juin, de 1984 à 2015.	39
Annexe 5 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et la durée de la saison de croissance en degrés-jours au-dessus de 5 °C, de 1984 à 2015.	40
Annexe 6 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et la température moyenne du lac Saint-Jean pour les mois de mai, juin et juillet, de 1984 à 2015.	41
Annexe 7 : Représentation des courants moyens dans différents secteurs du lac Saint-Jean en fonction de la direction d'origine des vents les plus fréquents. L'échelle des vecteurs de courants est indépendante de celle de la carte. Les tirets longs montrent les courants associés aux vents de l'est alors que les tirets fins montrent les courants associés aux vents du nord-ouest. Tiré de Lévesque et Sirois (2013).	42
Annexe 8 : Comparaison de l'ordre de grandeur des minimums et maximums d'abondance lors d'échantillonnage des éperlans 1+ dans les lacs Saint-Jean, Memphrémagog, et Champlain.	43
Annexe 9 : Fluctuations annuelles de l'abondance des omiscos, de 2001 à 2015 (pas de données en 2002 et 2011). La variation d'abondance totale des omiscos est représentée par les points noirs reliés par un trait plein noir. La variation des classes de tailles est montrée par les traits gris discontinus : les cercles vides pour les omiscos plus petits que 40 mm (jeunes de l'année), et les cercles pleins gris pour les omiscos de plus de 40 mm (juvéniles et adultes).	44
Annexe 10 : Corrélations entre l'abondance de l'omisco (cercle vide < 40 mm et cercle plein gris > 40 mm) et (A) l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel 0+; (B) le taux de survie des éperlans 0+ jusqu'au stade 1+.	45

INTRODUCTION

La pêche sportive de la ouananiche (*Salmo salar*) est une activité culturelle et sociale majeure au lac Saint-Jean. Elle est un important moteur économique et contribue à l'offre touristique (Verschelden 2009). La quantité et la qualité des ouananiches capturées varient d'une année à l'autre, principalement en réponse aux fluctuations d'abondance de leur proie préférentielle, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). Ce dernier représente environ 50 à 80 % du volume de proies ingérées par la ouananiche (Mahy 1975; Nadon 1991; Lefebvre 2003; Tremblay 2004). Par conséquent, la gestion de la ouananiche du lac Saint-Jean repose essentiellement sur la disponibilité de l'éperlan.

Les populations d'éperlan, au lac Saint-Jean et ailleurs dans le monde, sont reconnues pour varier fortement en abondance d'une année à l'autre. Ces fluctuations sont principalement attribuables aux variations du recrutement, c'est-à-dire à la variation du nombre de jeunes individus qui s'ajoutent à la population chaque année. La connaissance des principaux facteurs abiotiques et biotiques qui contrôlent le recrutement est une question fondamentale en écologie (Begon *et al.* 2005) et aussi une question primordiale pour une gestion durable des populations de ouananiche au lac Saint-Jean.

L'objectif de cette étude est de mettre à jour le modèle conceptuel de recrutement de l'éperlan proposé par Sirois (2005; figure 1). Cette mise à jour permettra d'ajouter une décennie de données supplémentaires.

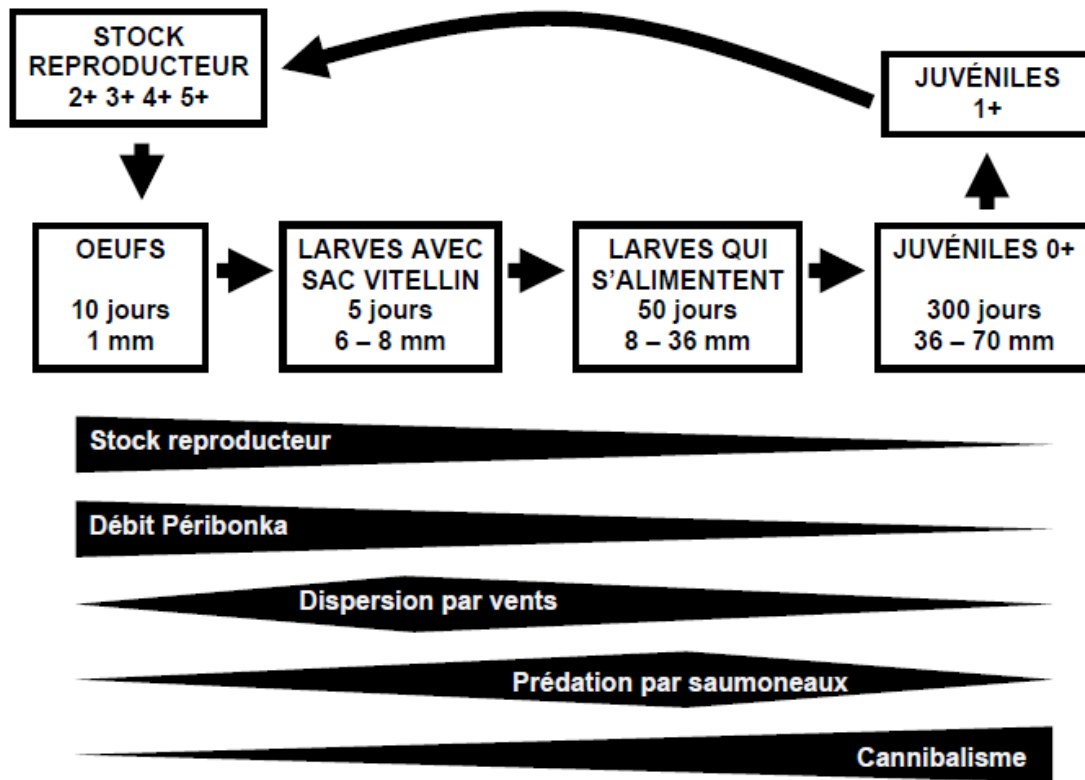


Figure 1 : Modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean développé par Sirois (2005).

Plus spécifiquement, l'objectif du présent rapport est de revisiter la sélection de facteurs qui influencent les fluctuations du recrutement de l'éperlan au lac Saint-Jean et d'élaborer un modèle prédictif de l'abondance des 0+. Pour ce faire, cinq types de facteurs ont été revus :

- La prédation;
- L'hydrologie;
- Les conditions météorologiques;
- Les relations intraspécifiques;
- Les relations interspécifiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SOURCE DES DONNÉES

Abondance de l'éperlan arc-en-ciel

L'abondance de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean fait l'objet d'un suivi annuel au début du mois d'août par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) depuis 1995¹. Un chalut pélagique de 2 x 2 m (quatre sections à ouverture de maille décroissante de 7,6 à 1,9 cm) est tracté de nuit à différentes profondeurs sur un ensemble de stations d'échantillonnage distribuées à travers le lac (Legault 1998). Les éperlans de l'année (0+), tout comme les juvéniles (1+) et les reproducteurs ($\geq 2+$), sont capturés par le chalut, ce qui offre un portrait des classes d'âge qui composent le stock d'éperlan. L'âge des éperlans juvéniles et adultes n'est pas disponible pour les années récentes (2013 à 2015).

L'abondance des éperlans 0+ avant 1995 peut être rétrocalculée à partir de l'équation de la relation entre l'abondance observée des éperlans 0+ et la croissance des écailles de ouananiche à leur première année en lac (figure 2). La croissance passée des ouananiches a été mesurée à partir des écailles prélevées sur les ouananiches interceptées à la passe migratoire de la rivière Mistassini.

Les données de croissance des ouananiches au cours de la première année en lac permettent de calculer rétroactivement l'abondance des éperlans 0+ de 1984 à 1994 (figure 3A, ligne discontinue seulement). Ces données, ajoutées à celles du chalutage annuel de fin d'été, permettent d'évaluer les fluctuations de l'abondance des éperlans 0+ de 1984 à 2015 (figure 3A).

¹ De nouvelles stations, situées plus près de la rive, ont été ajoutées à l'échantillonnage en 2000. Afin d'assurer la comparaison temporelle des données d'abondance, seules les stations suivies depuis 1995 ont été utilisées dans les analyses. L'annexe 1 présente une comparaison des valeurs d'abondance avec et sans les stations riveraines.

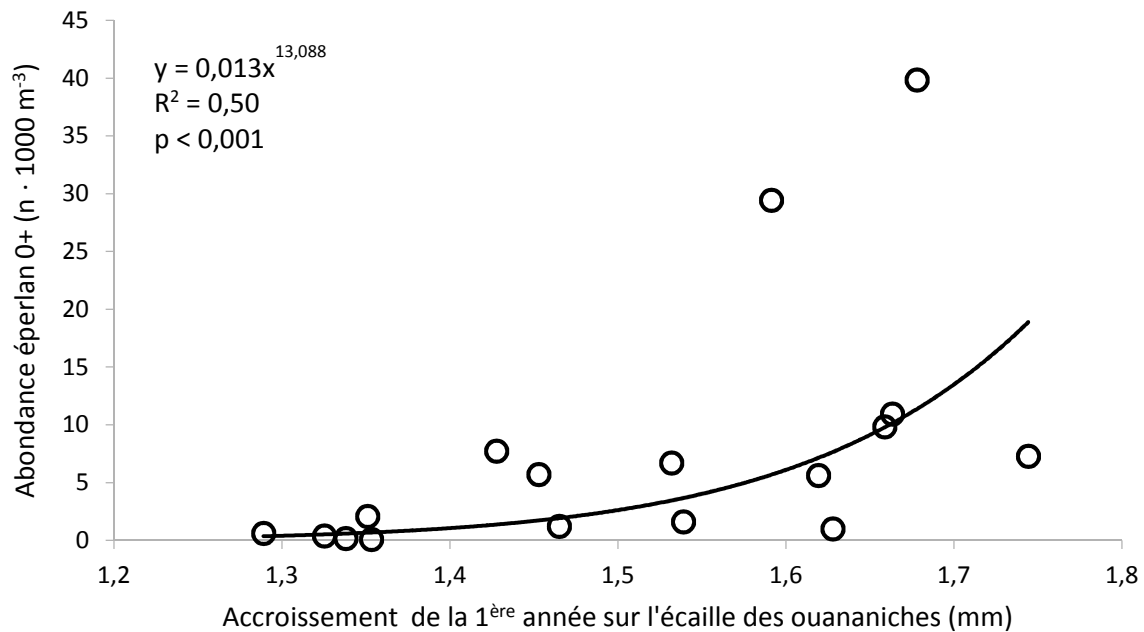


Figure 2 : Relation entre l'abondance des éperlans 0+ et la croissance moyenne de l'écaille des ouananiches durant la première année en lac.

Les données d'abondance des larves d'éperlan suivant l'éclosion (au printemps plutôt qu'au mois d'août) sont disponibles pour certaines années. Les larves d'éperlan ont été échantillonnées en mai et en juin dans le cadre d'études sur l'ichthyoplancton, en 1998-1999 (Fortin 2002) et 2001-2004 (Laboratoire des sciences aquatiques de l'UQAC, données non publiées). La mesure retenue correspond à l'abondance des larves au cours de la période où elles sont présentes (environ de la mi-mai à la mi-juin). Ces données ajoutent une résolution temporelle plus précise du stock d'éperlan et elles ont été utilisées pour évaluer les relations avec le stock reproducteur.

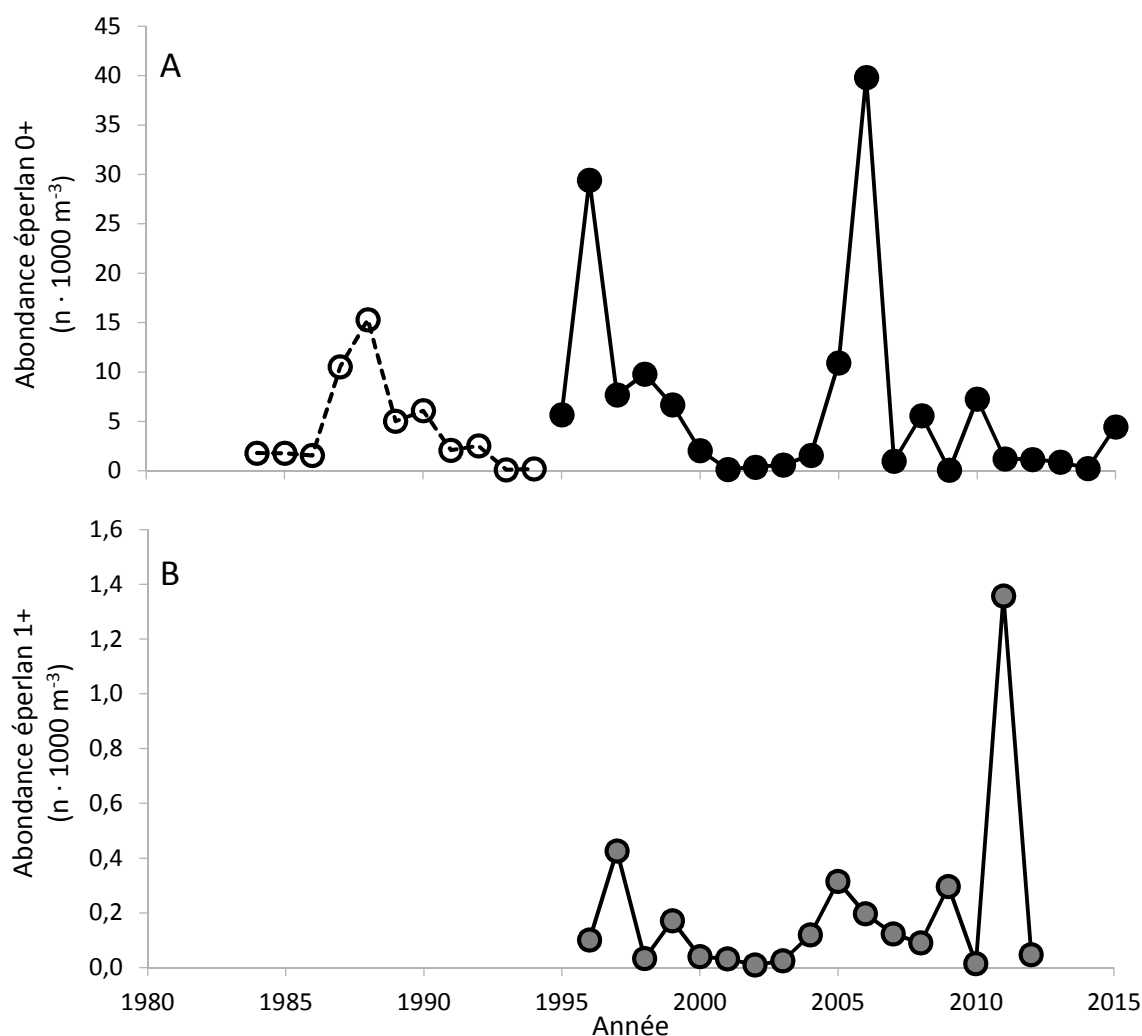


Figure 3 : (A) Fluctuations de l'abondance des éperlans 0+ de 1984 à 1994 (ligne discontinue – estimée) et de 1995 à 2015 (ligne continue – observée). (B) Fluctuations de l'abondance des éperlans 1+ de 1995 à 2012. Le décompte de l'âge pour les éperlans d'un an et plus n'est pas disponible après 2012.

Prédation

Dans le but de mieux comprendre les effets de la prédation par la ouananiche et le doré jaune, une synthèse des données de contenus stomacaux de ces deux prédateurs est présentée dans le rapport. Cette synthèse, réalisée par Plourde-Lavoie et Sirois (2016), rassemble les analyses de contenus stomacaux des études de Mahy (1975), Nadon (1991), Tremblay (2004) et des pêches expérimentales normalisées au doré du MFFP effectuées en 2006.

Ouananiche

Le principal prédateur de l'éperlan est la ouananiche. Les saumoneaux, soit les ouananiches à leur première année en lac, consomment une grande part du stock d'éperlan, principalement des 0+ (Tremblay 2004). L'abondance des éperlans 0+ a été mise en relation avec celle des saumoneaux afin d'évaluer l'effet de la prédation. Pour ce faire, un indice d'abondance des saumoneaux variant de 0 à 1 a été développé pour la période 1984-2015 (figure 4). Cet indice est basé sur le calcul du nombre de saumoneaux en dévalaison, lui-même reconstitué à partir du nombre de reproducteurs observés dans la rivière Mistassini de la façon suivante :

1) Estimation du nombre d'œufs produits chaque année

Somme des œufs produits par chaque groupe d'âge de reproducteurs pour une année donnée (2, 3, 4 et ≥ 5 ans de lac).

Pour calculer le nombre d'œufs produits par un groupe d'âge :

$$\text{Œufs}_{\text{âge}} = a * b * c * d$$

où

a = Le nombre de géniteurs disponibles pour la fraie pour ce groupe d'âge selon la montaison annuelle à la passe migratoire de la rivière Mistassini (MFFP, données non publiées).

b = La proportion des femelles dans le ratio des sexes = 0,61 (MFFP, données non publiées).

c = La masse moyenne des femelles pesées à la passe migratoire de la Mistassini (MFFP, données non publiées). Selon le groupe d'âge,

2 ans de lac = 1,16 kg;

3 ans de lac = 1,56 kg;

4 ans de lac = 1,56 kg;

≥ 5 ans de lac = 1,67 kg.

d = La fécondité = 1 400 œufs \cdot kg⁻¹ (Plourde *et al.* 2013).

2) Estimation du nombre de saumoneaux produits chaque année

Somme des saumoneaux en dévalaison pour une année donnée.

$$\text{Saumoneaux}_{\text{cohorte}} = e * f$$

où

e = Le nombre estimé d'œufs produits l'année de ponte de la cohorte.

f = Survie moyenne en rivière calculée d'après la dévalaison des saumoneaux de la rivière Ouasiemsca = 0,77 % (MFFP, données non publiées).

Les cohortes de saumoneaux produits sont réparties sur deux ans, selon le ratio

moyen observé dans les dévalaisons des saumoneaux de la Ouasiemsca (MFFP, données non publiées),

28 % des saumoneaux en dévalaison sont âgés de 2 ans;

72 % des saumoneaux en dévalaison sont âgés de 3 ans.

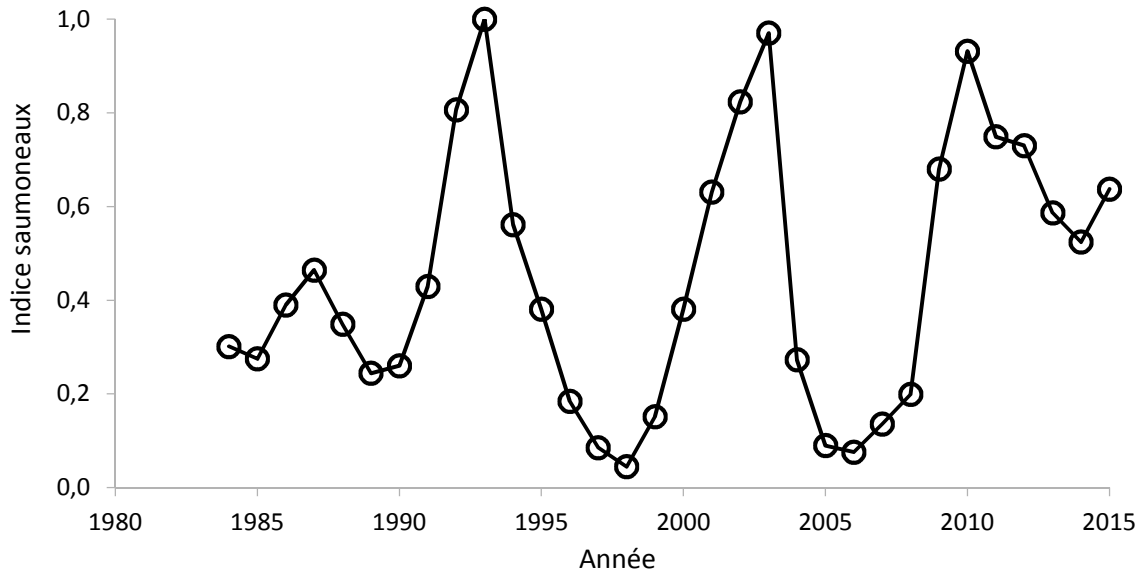


Figure 4 : Fluctuations de l'indice d'abondance des saumoneaux de 1984 à 2015.

Hydrologie

Les effets des facteurs hydrologiques sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel ont été actualisés pour la période 1984 à 2015. Les facteurs retenus sont le débit moyen la première semaine de juin des rivières Péribonka et Ashuapmushuan, ainsi que le niveau du lac Saint-Jean en mai et en juin. Les données de débit de la rivière Ashuapmushuan tout comme celles du niveau du lac Saint-Jean proviennent des stations hydrométriques du Centre d'expertise hydrique du Québec². Les données de débit de la rivière Péribonka à la centrale de Chute-à-la-Savane ont été gracieusement partagées par Rio Tinto Énergie électrique.

² https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/index.asp

Conditions météorologiques

Bien qu'il ait été démontré que les éperlans du lac Saint-Jean sont bien adaptés au climat plus froid (Bérubé 2005), nous avons évalué les relations entre la somme annuelle des degrés-jours au-dessus de 5 °C, la température moyenne de l'eau en mai, juin et juillet et l'abondance des éperlans 0+. Un second paramètre lié à la météo, soit la proportion des rafales provenant du nord-ouest en juin³, a été mis en relation avec l'abondance des éperlans 0+. L'effet des vents sur la dispersion des larves avait été inclus au modèle conceptuel initial du recrutement de l'éperlan, sans pour autant avoir été quantifié.

Les données météorologiques proviennent de la station météo de l'aéroport de Roberval et elles sont disponibles en ligne sur le site de Données climatiques historiques d'Environnement Canada⁴. Les données de vent sont inexistantes de 2003 à 2005. Les données de température de l'eau du lac Saint-Jean mesurée à la prise d'eau de Roberval ont, quant à elles, été gracieusement fournies par la division Hygiène du milieu de la Ville de Roberval.

Relations intraspécifiques

Les relations intraspécifiques peuvent avoir un effet sur le recrutement de l'éperlan : deux types de relations ont été étudiés. D'abord, des relations sont mises en évidence entre l'importance du stock reproducteur (c.-à-d. les éperlans $\geq 2+$) et l'abondance des éperlans 0+ au printemps (mesurée lors des échantillonnages larvaires printaniers) et au mois d'août (mesurée lors du chalutage du MFFP). La seconde analyse porte sur les effets du cannibalisme qui sont estimés à partir de la relation entre la survie des éperlans 0+ jusqu'au stade 1+ et l'abondance des éperlans 1+.

Relations interspécifiques

Les données d'abondance d'omisco proviennent des captures réalisées lors des chalutages annuels des juvéniles d'éperlan arc-en-ciel par le MFFP. L'omisco représente généralement une importante proportion des captures, dépassant parfois même celle de

³ La direction de la rafale maximale journalière ($\geq 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) a été utilisée pour calculer la proportion mensuelle des rafales provenant du nord-ouest.

⁴ <http://climat.meteo.gc.ca/>

l'éperlan. Les longueurs totales des omiscos capturés de 2001 à 2015 ont été mesurées. À partir de la distribution de fréquence des tailles, les omiscos ont été séparés en deux groupes : les petits omiscos (< 40 mm) et les grands omiscos (> 40 mm), qui correspondent aux omiscos 0+ et aux omiscos $\geq 1+$ (Plourde 2011). Ces données ont permis d'évaluer la relation entre l'abondance de l'éperlan et celle de l'omisco.

PRÉDICTION DE L'ABONDANCE DES ÉPERLANS 0+

Un modèle de régression linéaire multiple a été développé afin d'explorer l'effet combiné des différents facteurs indépendants qui influencent les fluctuations de l'abondance des éperlans 0+ au lac Saint-Jean, mesurées par les chalutages annuels du MFFP (tableau 1). En raison du manque de données temporelles d'abondance pour le doré jaune, ce facteur a dû être exclu des analyses. De même, le débit de la rivière Ashuapmushuan a été éliminé, ce dernier étant corrélé à celui de la rivière Péribonka ($\tau = 0,49$; $p < 0,001$). Enfin, l'abondance des éperlans adultes a dû être exclue en raison de la corrélation avec l'abondance des saumoneaux ($\tau = -0,46$; $p = 0,009$).

Tableau 1 : Liste des variables retenues pour élaborer le modèle du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

Type de facteur	Variable
Prédation	Abondance des saumoneaux
Hydrologie	Débit moyen de la Péribonka la première semaine de juin Niveau moyen du lac Saint-Jean en mai Niveau moyen du lac Saint-Jean en juin
Climat et météo	Somme des degrés-jours de croissance (> 5 °C) Température moyenne de l'eau en mai Température moyenne de l'eau en juin Température moyenne de l'eau en juillet Proportion de rafales du nord-ouest en juin

Un second modèle de régression linéaire multiple a été élaboré en intégrant l'abondance des omiscos. Cette variable ne pouvait pas être ajoutée à la construction du premier modèle puisque seulement 13 années de données sont disponibles (comparativement à 32 pour le principal modèle de régression linéaire). Les abondances des deux groupes d'omiscos ont été considérées séparément puisque corrélées entre elles ($\tau = 0,46$; $p = 0,030$). Enfin, la proportion de rafales du nord-ouest en juin a dû être exclue de cette série de modèles, car les trois années sans donnée diminuaient encore plus le nombre d'années disponibles pour l'analyse.

Les analyses ont été effectuées avec le logiciel RStudio (R Development Core Team 2005). Les modèles ont été générés suivant la procédure pas à pas (fonction `stepAIC` de la bibliothèque MASS). Les variables sont enlevées ou ajoutées une à la fois au modèle, tant qu'elles l'améliorent significativement selon le critère d'information d'Akaike (AIC) : un plus petit AIC indique un meilleur modèle. Les données brutes ont été transformées au besoin pour satisfaire aux conditions d'application de la régression multiple.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

MODÈLE CONCEPTUEL DU RECRUTEMENT

Effet de la prédation

La ouananiche et le doré jaune sont les deux principaux prédateurs de l'éperlan arc-en-ciel (figure 5). L'éperlan représente une proportion importante de la diète de la ouananiche, même lorsque le stock d'éperlan est bas (ex. 2001 et 2002). Les précédentes études ont révélé que l'éperlan constituait entre 50 et 80 % du volume de proies ingérées (Mahy 1975; Nadon 1991; Lefebvre 2003; Tremblay 2004).

Le doré est plus opportuniste dans son alimentation que la ouananiche. De façon générale, la diète printanière et estivale du doré se compose de beaucoup d'insectes, tandis que la diète de fin d'été et d'automne se compose majoritairement de poissons, principalement des espèces autres que l'éperlan (Tremblay 2004). Par exemple, les estomacs des dorés échantillonnés à l'automne 2006 contiennent majoritairement du poisson (98 % des proies ingérées), et souvent de l'éperlan (19 % des proies ingérées et jusqu'à 28 % en considérant les éperlans « probables »; MFFP, données non publiées). Une diète dominée par les poissons à l'automne concorde avec la littérature (Colby *et al.* 1979; Quist *et al.* 2002; Ward *et al.* 2007).

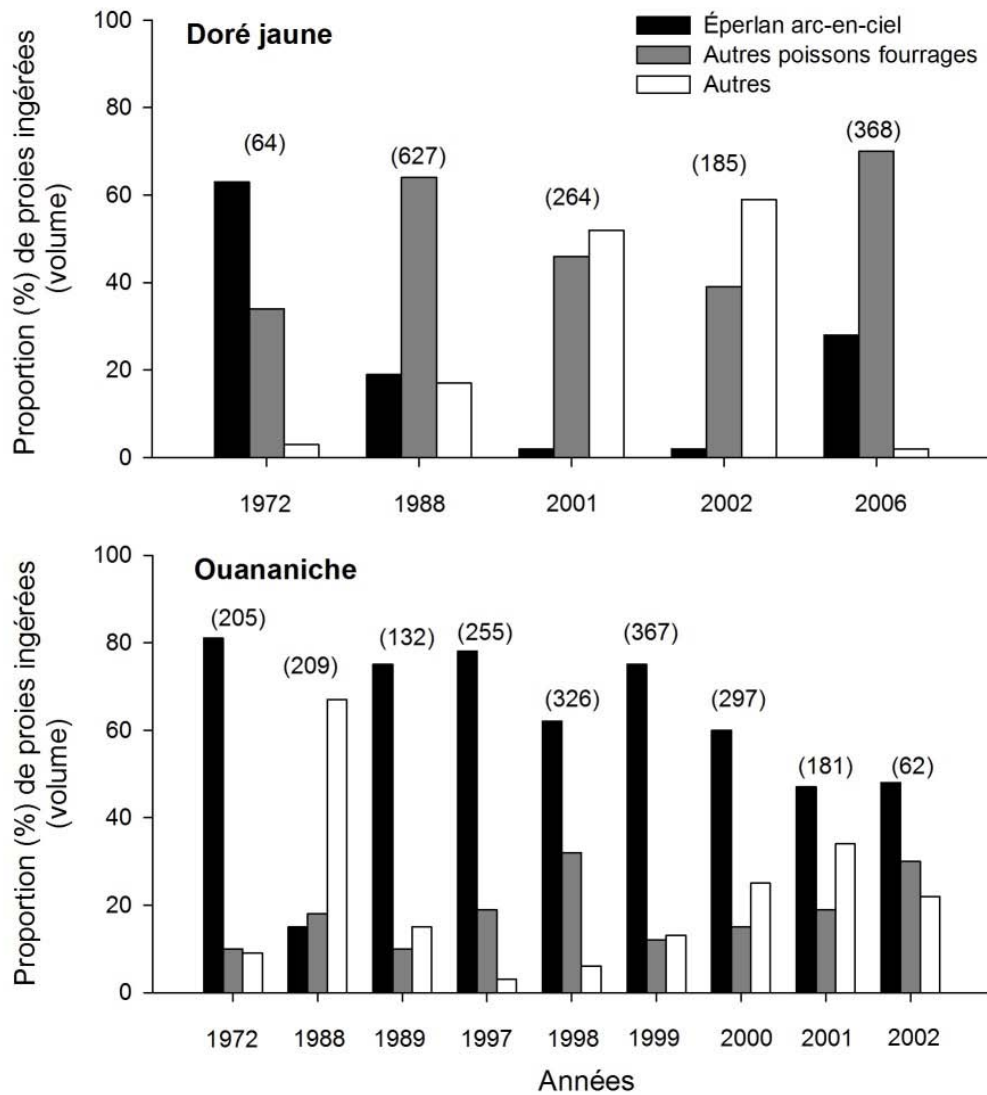


Figure 5 : Proportion de proies ingérées par la ouananiche et le doré jaune (exprimée en pourcentage du volume) au lac Saint-Jean, de 1972 à 2006. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de spécimens analysé chaque année. Tiré de Plourde-Lavoie et Sirois (2016).

Ouananiche

Un lien étroit inversement proportionnel existe entre les fluctuations d'abondance des saumoneaux et celles des éperlans de l'année (figure 6A), à un point tel que l'abondance de l'éperlan est considérée comme le facteur limitant l'abondance de la ouananiche (Kircheis et Stanley 1981; Tremblay 2004; Fortin *et al.* 2009). La variation de l'abondance des éperlans 0+ peut être prédite par celle des saumoneaux dévalant la rivière Mistassini au printemps ($R^2 = 0,37$, $p < 0,001$; figure 6B).

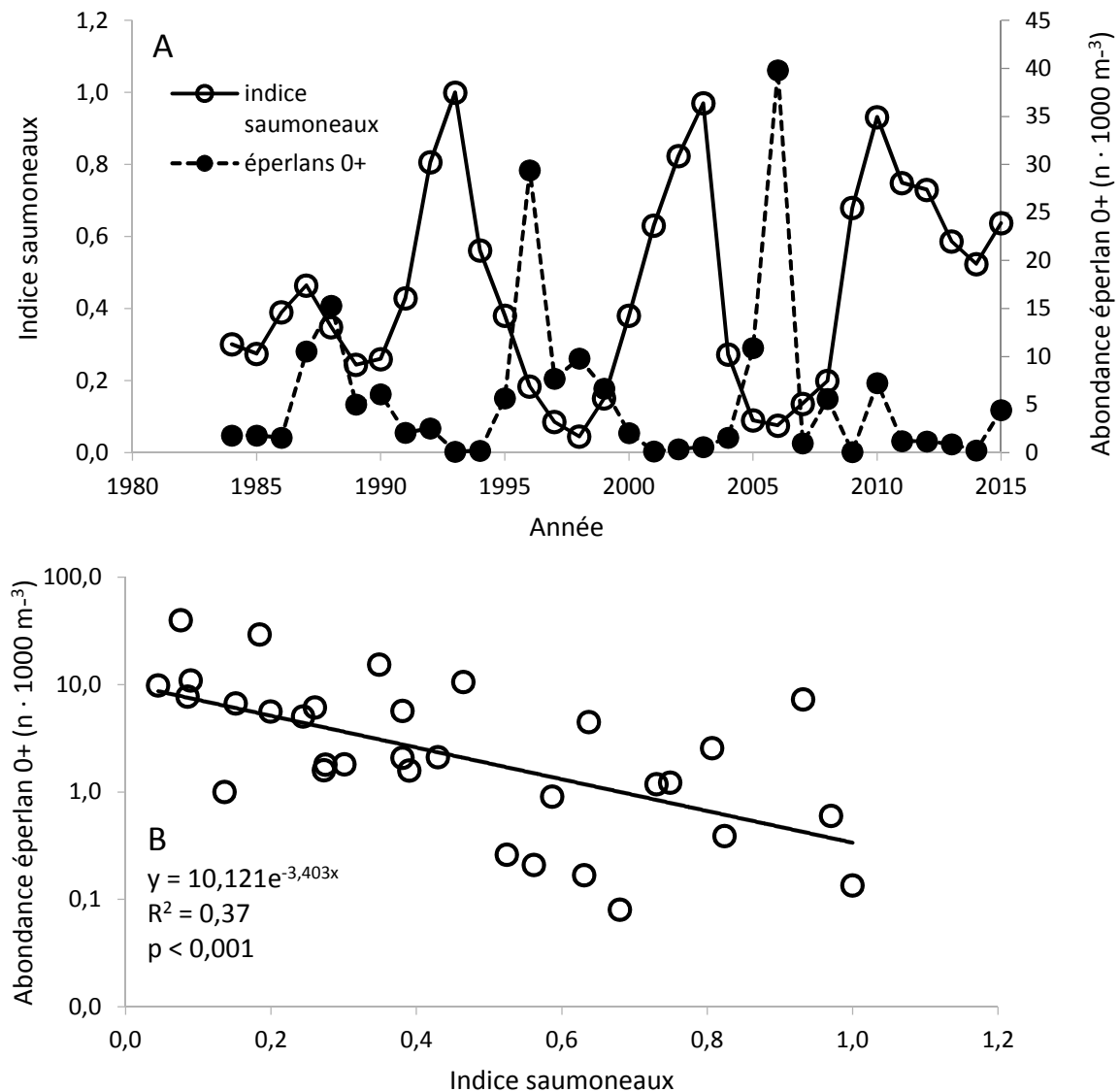


Figure 6 : (A) Fluctuations temporelles de l'abondance des éperlans 0+ (points noirs et ligne discontinue) et de l'indice des saumoneaux dans le lac Saint-Jean (points blancs et ligne continue) de 1984 à 2015. (B) La relation entre l'abondance des éperlans 0+ (échelle logarithmique) et l'indice saumoneaux est significative.

Doré jaune

Le doré jaune est un prédateur opportuniste très abondant au lac Saint-Jean. Les effets de la prédation du doré sur l'abondance de l'éperlan sont peu connus, en raison de l'absence de longues séries temporelles de données d'abondance du doré. Les pêches expérimentales normalisées du MFFP, réalisées en 2005-2006, 2010-2011 et 2016, ne permettent pas d'établir de relation entre l'abondance ou la biomasse des dorés et l'abondance des éperlans. Néanmoins, les données des pêches expérimentales ont permis d'établir une relation entre l'indice de condition des dorés matures et immatures (indice de Fulton; Ricker 1980) et l'abondance des éperlans 0+, bien que le nombre de données soit encore trop fragmentaire pour conclure statistiquement (figure 7). Cette relation n'est pas observée avec les éperlans de un an et plus (annexe 2).

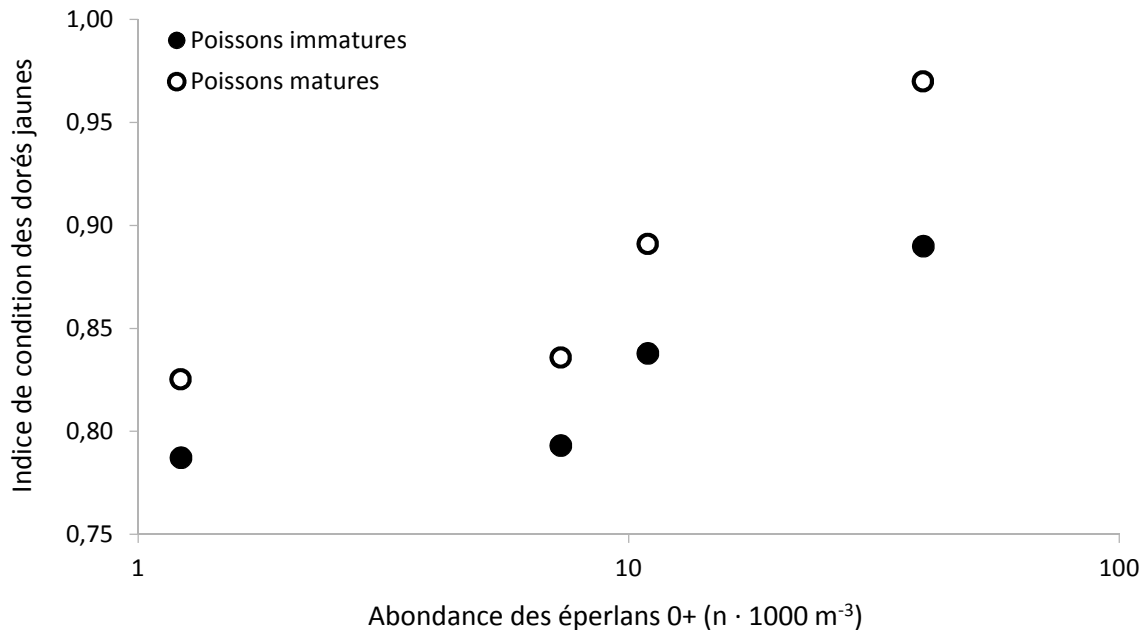


Figure 7 : Relation entre l'indice de condition de Fulton des dorés jaunes (points blancs pour les poissons matures et point noirs pour les immatures) et l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+.

Les résultats de Lévesque *et al.* (en préparation) n'ont pas démontré de relation directe entre la croissance des dorés juvéniles durant leurs trois premières années de vie et l'abondance des éperlans 0+. Par contre, la croissance à la troisième année de vie varie en

fonction des degrés-jours de croissance au-dessus de 5 °C jumelés à l'abondance des éperlans 1+ (tableau 2).

Tableau 2 : Modèles de croissance des dorés jaunes juvéniles tirés de Lévesque *et al.* (en préparation). Seules les variables significatives ont été retenues. Le n correspond au nombre d'années d'observations, le p donne la significativité du modèle, le $R^2_{\text{ajusté}}$ son pouvoir explicatif, et le critère d'information d'Akaike (AIC) indique le modèle le plus vraisemblable (un modèle de meilleure qualité présente un plus petit AIC). GDD correspond à la somme annuelle des degrés-jours au-dessus de 5 °C, DégelJJ au moment du départ des glaces en jours juliens et AbOsmo1+ à l'abondance des éperlans juvéniles. La croissance annuelle de l'otolithe des dorés est utilisée comme indicateur de la croissance réelle passée du poisson.

Croissance	Variable 1	Variable 2	n	p	$R^2_{\text{ajusté}}$	AIC
Première année de vie	GDD		16	0,001	0,50	90,0
	GDD	DégelJJ	16	0,001	0,65	85,3
Deuxième année de vie	GDD		15	0,006	0,41	78,7
Troisième année de vie	GDD		14	0,021	0,32	76,1
	GDD	AbOsmo1+	14	0,003	0,58	70,2

Bien que le lien entre l'abondance des éperlans et la croissance des dorés soit faible, il est possible que l'abondance du doré ait un effet sur le recrutement de l'éperlan. Le doré demeure un prédateur de l'éperlan, même si sa diète est plus variée que celle de la ouananiche, et l'un des poissons les plus abondants au lac Saint-Jean.

Effet de l'hydrologie

Il n'existe pas de lien entre l'abondance des éperlans 0+ et le niveau du lac Saint-Jean en mai et juin (annexe 3) ou le débit de la rivière Ashuapmushuan au printemps (annexe 4). La corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le débit de la rivière Péribonka durant la première semaine de juin se maintient avec l'ajout des données de la dernière décennie, ce qui reconferme que le recrutement est faible lorsque le débit excède $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (figure 8). La relation inverse n'est cependant pas vraie, c'est-à-dire qu'il ne suffit pas d'un débit sous ce seuil pour assurer un bon recrutement de l'éperlan. D'autres facteurs influencent davantage la survie des éperlans lorsque le débit de la Péribonka est inférieur à $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

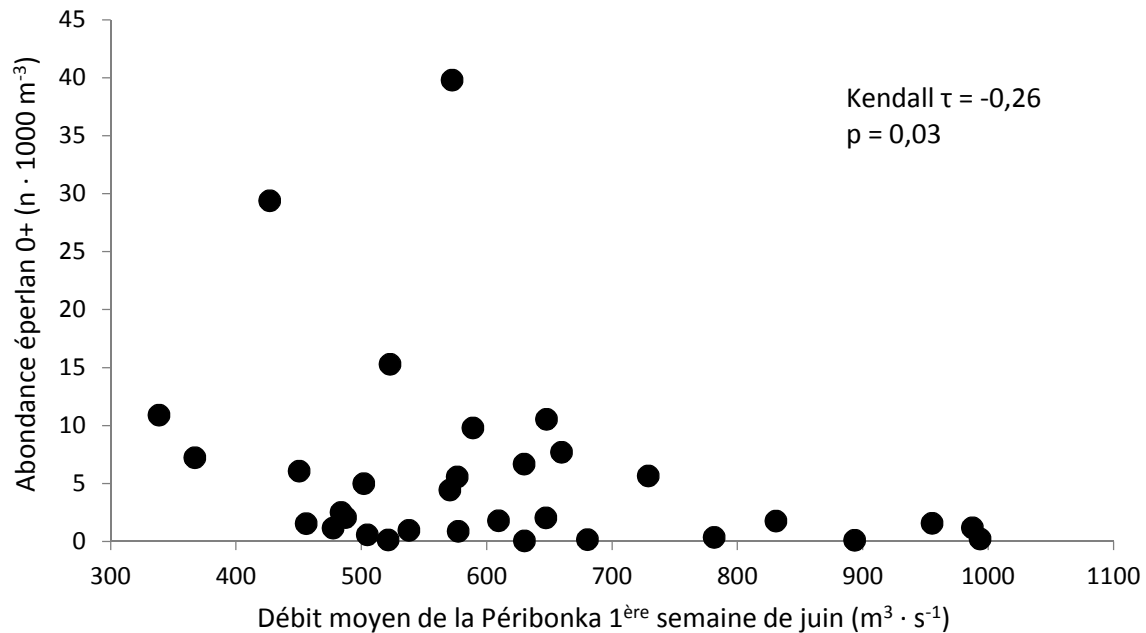


Figure 8 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le débit moyen de la rivière Péribonka au cours de la première semaine de juin, de 1984 à 2015.

Le mécanisme par lequel les débits extrêmes de la Péribonka influencent négativement le recrutement des éperlans demeure inconnu. Au cours des dernières années, il a été démontré, en recoupant les données existantes, que le principal effort de fraie des éperlans a lieu en lac plutôt qu'en rivière au lac Saint-Jean (Lévesque 2012). Ce constat est confirmé par la distribution des jeunes larves d'éperlan (Lévesque et Sirois 2013). Il suggère que le débit de la rivière Péribonka est probablement un indicateur hydrologique de l'ensemble de la portion nord du lac Saint-Jean plutôt qu'une variable entraînant un effet local comme précédemment présumé (Sirois 2005).

Effet des conditions météorologiques

Les éperlans du lac Saint-Jean sont bien adaptés pour faire face au climat hivernal (Bérubé 2005). Aucune relation entre la durée de la saison de croissance en degrés-jours ou la température de l'eau et l'abondance des éperlans 0+ n'a été observée dans les nouvelles analyses (annexes 5 et 6). Ni une température moyenne de l'eau en mai offrant un départ hâtif de la saison de croissance, ni une année plus chaude n'ont d'effet détectable sur l'abondance des éperlans. Une courte saison de croissance leur permet d'atteindre une taille suffisante et d'accumuler assez de lipides pour survivre à l'hiver (Bérubé 2005). Les facteurs relatifs à la durée de la saison de croissance n'influencent donc pas leur survie.

Le régime des vents a un effet sur la survie des jeunes éperlans. Les vents influencent fortement les courants dans le premier mètre d'eau de surface du lac Saint-Jean (Leclerc 1985). Dans l'étude de Lévesque et Sirois (2013), les courants de la portion nord du lac ont été mesurés à l'aide de bouées dérivantes et mis en relation avec les vents. L'eau de surface suit un mouvement giratoire antihoraire sous l'action des vents de l'est, alors que les vents du nord-ouest génèrent des courants avec une nette tendance vers le sud-est (annexe 7; Lévesque et Sirois 2013).

Les résultats de différentes études menées au lac Saint-Jean suggèrent l'existence d'un optimum de dispersion des larves d'éperlan par les vents. Les jeunes larves dérivent au gré des courants. Elles dépendent de ces derniers pour les entraîner et les maintenir dans des secteurs d'alimentation favorables (revu dans Houde 2008). À l'inverse, l'absence de

dispersion (ou la rétention près du lieu d'éclosion) peut nuire à leur survie. Gagnon (2005) arrivait à la conclusion que la dispersion des larves d'éperlan vers la moitié sud du lac Saint-Jean par les vents du nord-ouest lors du passage de l'alimentation endogène à exogène est plus favorable à la survie des larves que leur rétention dans la moitié nord du lac par les vents du sud-est.

D'autre part, les larves sont vulnérables aux fortes turbulences engendrées par les vents (Mion *et al.* 1998; MacKenzie et KiØrboe 2000; Jones *et al.* 2003). Les courants forts générés par les épisodes de rafales du nord-ouest semblent diminuer la survie des larves d'éperlan du lac Saint-Jean, puisque l'abondance des éperlans 0+ tend à décroître plus la proportion de journées avec des rafales du nord-ouest en juin est élevée (c.-à-d. la proportion de journées en juin avec des vents du nord-ouest de 30 km · h⁻¹ et plus; $R^2 = 0,2$, $p = 0,01$; figure 9).

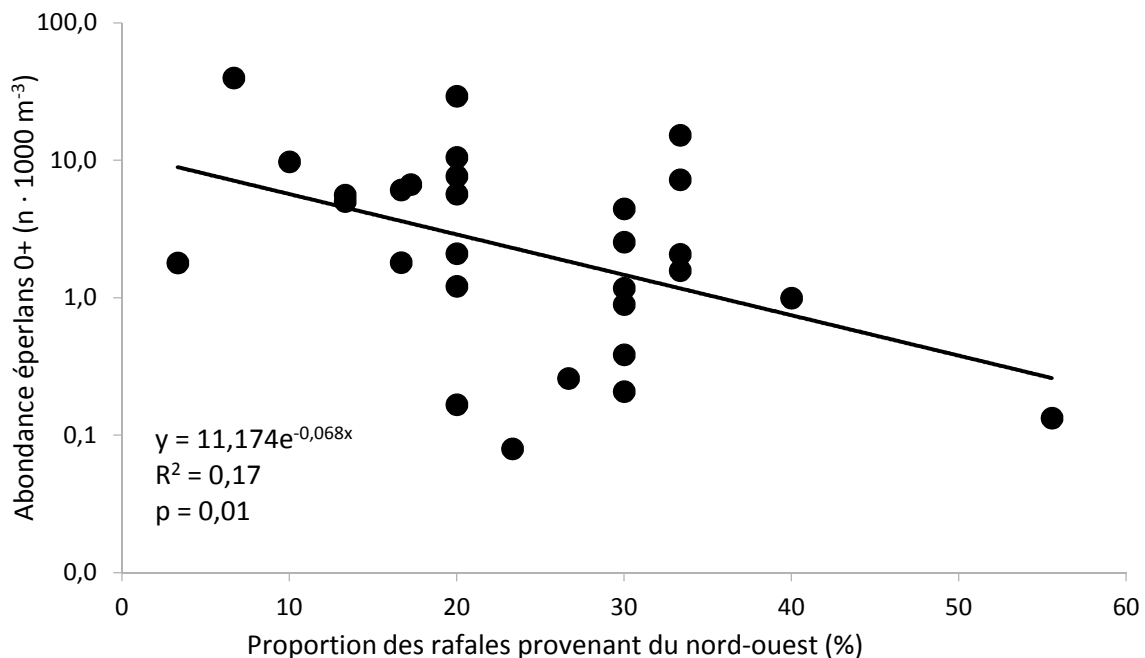


Figure 9 : Relation entre l'abondance des éperlans 0+ (échelle logarithmique) et la proportion des rafales provenant du nord-ouest au cours du mois de juin.

Effet des relations intraspécifiques

Des facteurs intrinsèques aux populations d'éperlan, tels que l'abondance du stock reproducteur et le cannibalisme, peuvent influencer le recrutement des jeunes de l'année.

Abondance du stock reproducteur

La relation entre les reproducteurs et les recrues (stock-recrutement) est une relation classique en écologie des poissons (Ricker 1954). Cette relation entre les reproducteurs (les éperlans $\geq 2+$) et les éperlans de l'année (0+) est présente au lac Saint-Jean (figure 10B). À noter que l'âge des éperlans juvéniles et adultes n'est pas disponible pour les années récentes (2013 à 2015).

L'ajout des nouvelles données reconfirme que l'abondance des éperlans 0+ augmente avec l'abondance des reproducteurs (figure 10). Par contre, la donnée hors de la tendance en 2007 indique qu'un facteur extérieur, vraisemblablement une grande proportion de rafales du nord-ouest en juin, peut ruiner un fort potentiel de production.

Le suivi de l'abondance de l'éperlan a lieu en août. Par conséquent, les adultes ($\geq 2+$) récoltés lors du suivi estival représentent le potentiel reproducteur du stock presque trois mois après la fraie, alors que les jeunes de l'année (0+) capturés en août représentent les recrues ayant survécu à la période larvaire (figure 10B). Au moment du suivi, ces jeunes de l'année ont dépassé la période de plus grande vulnérabilité. La relation entre les reproducteurs et les recrues peut aussi être étudiée à partir des données d'abondance des éperlans 0+ en juin récoltés lors de différents échantillonnages de larves (1998-1999 et 2001 à 2004), c'est-à-dire au tout début de la période larvaire. Ces données permettent d'établir une meilleure relation entre l'abondance des reproducteurs en août ($\geq 2+$) et l'abondance des larves produites au cours des mois de mai et juin précédent (figure 10A : $R^2 = 0,94$; $p = 0,001$). La figure 10A, malgré le nombre réduit d'observations, montre à son tour que la production de larves d'éperlan dans le lac Saint-Jean est bien reliée à l'abondance du stock reproducteur.

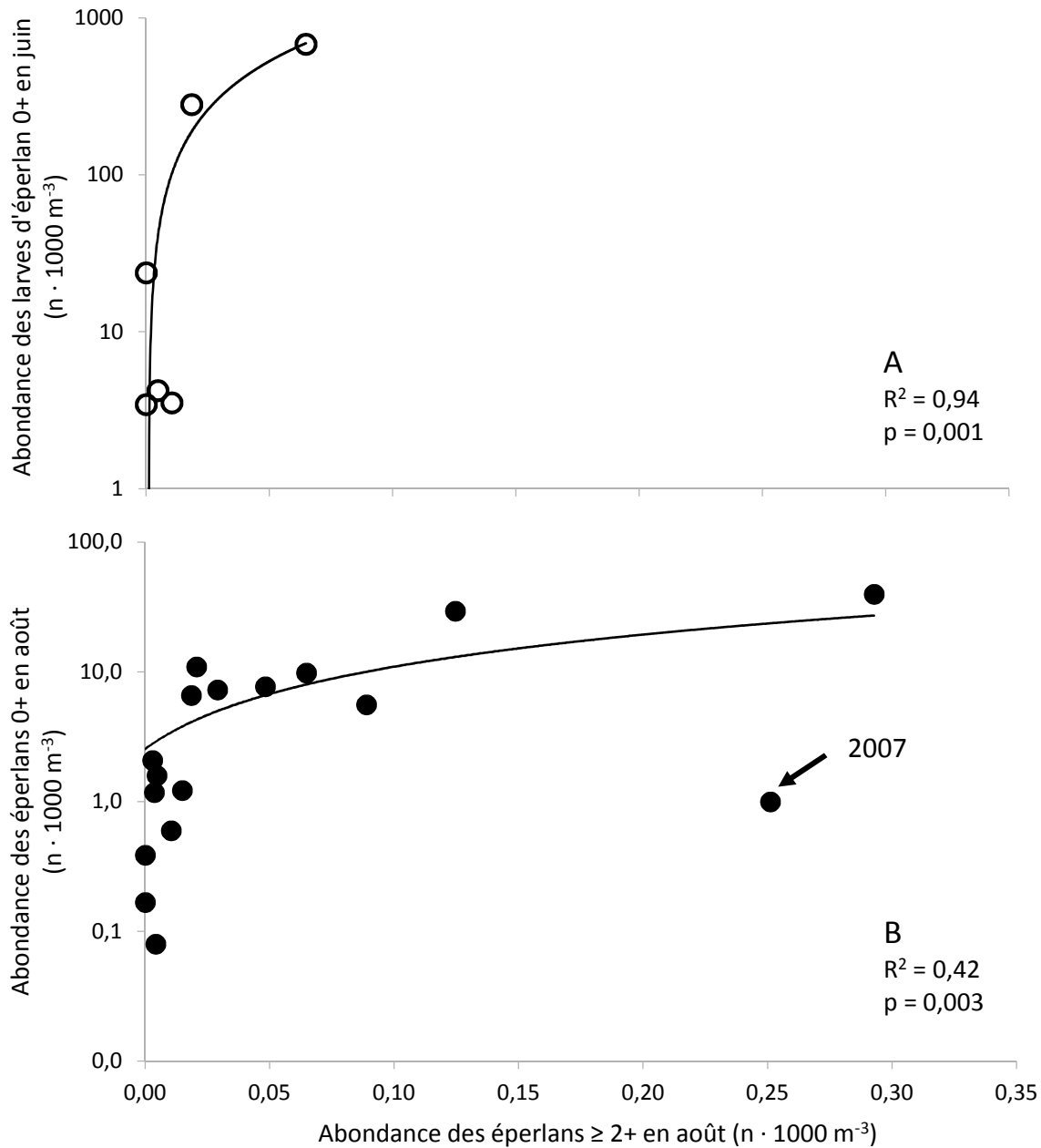


Figure 10 : La relation stock-recrutement chez l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. (A) La relation entre l'abondance des reproducteurs en fin d'été et l'abondance des larves au mois de juin précédent, pour 1998-1999 et 2001 à 2004. (B) La relation entre l'abondance des reproducteurs et celle des jeunes de l'année (0+) en fin d'été entre 1996 et 2012 ($R^2 = 0,42$; $p = 0,003$). Noter l'échelle logarithmique de l'axe des ordonnées (abondance des éperlans 0+).

Le cannibalisme

Le cannibalisme des éperlans juvéniles (1+) au détriment des jeunes de l'année (0+) est connu et documenté dans les lacs Champlain, Ontario et Érié (He et LaBar 1994; Lantry et Stewart 2000). Contrairement à ce qui a été trouvé dans Sirois (2005), le cannibalisme ne semble pas jouer un rôle déterminant sur le recrutement des éperlans du lac Saint-Jean. La révision de la relation entre la survie des éperlans 0+ et l'abondance des 1+, par l'ajout de sept années de données supplémentaires, a rendu la relation non significative ($R^2 = 0,13$; $p = 0,17$; figure 11). À noter que l'âge des éperlans d'un an et plus n'est pas disponible après 2012. Par conséquent, la survie des 0+ a été seulement calculée de 1996 à 2011. Ce constat fait écho aux résultats de Plourde (2011) qui n'a trouvé aucune trace de cannibalisme dans le contenu stomacal d'une centaine d'éperlans 1+ du lac Saint-Jean. L'importance du cannibalisme est étroitement liée à la « densité vécue » (*experienced density*) par ces deux classes d'âge d'éperlan (Parker Stetter *et al.* 2007). Il s'agit d'un facteur qui tient compte à la fois de la densité des classes d'âge, mais aussi de leur chevauchement spatial. L'abondance des éperlans 1+ est globalement faible au lac Saint-Jean (voir annexe 8). Qu'ils épousent ou non la distribution des 0+, les éperlans 1+ sont probablement en quantité insuffisante pour avoir un effet important sur le recrutement des éperlans 0+.

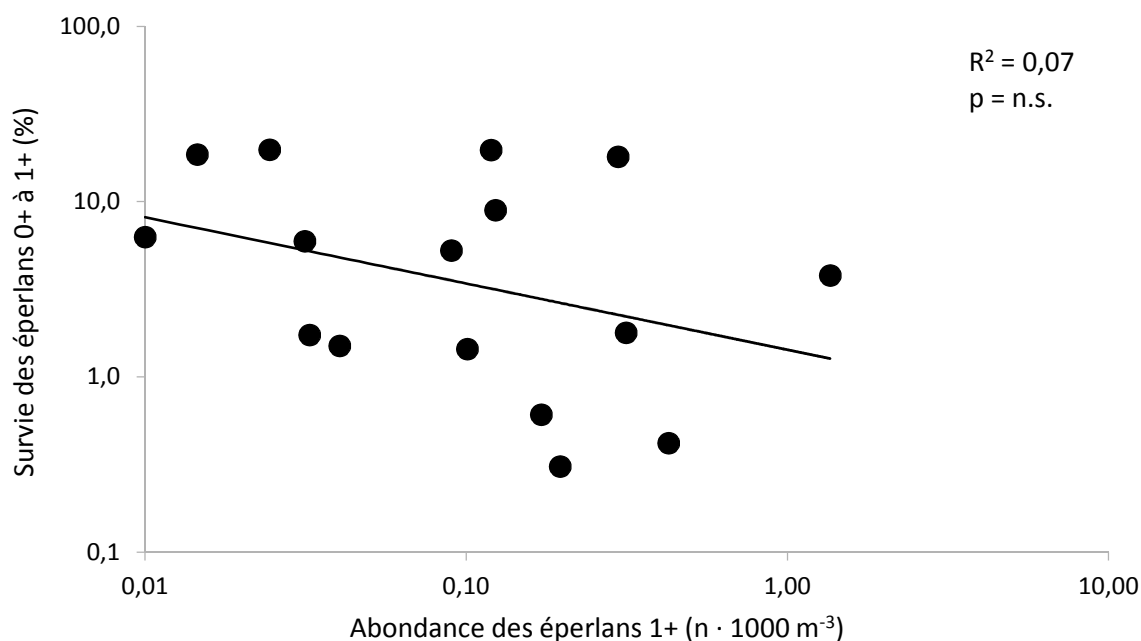


Figure 11 : Relation entre la survie des jeunes éperlans de 0+ à 1+ en pourcentage et l'abondance des éperlans 1+ entre 1996 et 2011.

Effet des relations interspécifiques

Aucune relation directe entre les variations d'abondance de l'éperlan 0+ et les variations d'abondance de l'omisco (annexe 9) n'a pu être mise en évidence, bien que l'omisco constitue la seconde espèce de poisson fourrage en importance dans les suivis des poissons pélagiques du lac Saint-Jean. Il n'y a pas de relation entre l'abondance des éperlans 0+ et celle des petits omiscos (< 40 mm) ou des gros omiscos (> 40 mm), ni entre la survie des éperlans 0+ et l'abondance des petits ou des gros omiscos (annexe 10). Ces deux espèces utilisent des niches alimentaires distinctes : les éperlans se nourrissent presque exclusivement de zooplancton associé au milieu pélagique, alors que les omiscos s'alimentent principalement de zoobenthos et de zooplancton associé au littoral (Plourde 2011). La compétition entre ces deux espèces semble à prime abord faible.

PRÉDICTION DE L'ABONDANCE DES ÉPERLANS 0+

Les analyses de régression linéaire multiple ont mis en évidence un modèle prédictif de l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ au lac Saint-Jean. La performance du modèle généré est bonne avec un $R^2_{\text{ajusté}}$ de 0,44 (tableaux 3).

Le meilleur modèle explicatif de la variation de l'abondance des éperlans 0+ de 1984 à 2015 retient l'abondance des saumoneaux et le débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin ($R^2_{\text{ajusté}} = 0,44$, $p < 0,001$; tableau 3). À titre comparatif, l'abondance des saumoneaux à elle seule a un plus faible pouvoir explicatif ($R^2_{\text{ajusté}} = 0,34$, $p < 0,001$). Ce modèle à une variable n'est pas conservé au cours du processus de sélection des variables pas à pas, puisque son AIC est plus grand que celui du modèle à deux variables. Dans le même ordre d'idée, l'ajout d'une troisième variable au modèle n'est pas retenu par le processus de sélection, puisque l'AIC du meilleur modèle à trois variables (avec la température moyenne de l'eau en juillet comme troisième variable) est légèrement plus grand que celui du modèle à deux variables. De plus, l'ajout d'une troisième variable n'améliore sensiblement pas le pouvoir explicatif du modèle ($R^2_{\text{ajusté}} = 0,45$, $p < 0,001$).

Tableau 3 : Modèles explicatifs de l'abondance des éperlans 0+ dans le lac Saint-Jean de 1984 à 2015. Le modèle retenu apparaît en gras. Le p donne la significativité du modèle, le $R^2_{\text{ajusté}}$ son pouvoir explicatif, et le critère d'information d'Akaike (AIC) indique le modèle le plus vraisemblable (un modèle de meilleure qualité présente un plus petit AIC). Le coefficient de chaque variable des modèles (Coeff.) ainsi que sa significativité sont indiqués.

Combinaisons de variables	Coeff.	p	$R^2_{\text{ajusté}}$	AIC
Abondance des saumoneaux	-1,74	0,0003	0,44	-34,75
Débit de la Péribonka 1^{ère} semaine de juin	-2,22	0,0241		
		0,0006	0,45	-34,03
<i>Abondance des saumoneaux</i>	-1,78	0,0006		
<i>Débit de la Péribonka 1^{ère} semaine de juin</i>	-2,38	0,0177		
<i>Température moyenne de l'eau en juillet</i>	3,16	0,2987		
		0,0007	0,34	-30,94
<i>Abondance des saumoneaux</i>	-1,88	0,0007		

Des sous-modèles ont été créés avec une série temporelle de données réduite (2001 à 2015), afin d'ajouter l'abondance des omiscos aux variables explicatives. Le simple ajout de la variable omisco (petit ou grand) à l'abondance des saumoneaux et au débit de la Péribonka la première semaine de juin (les variables retenues par le modèle précédent) ne permet pas d'ajouter de pouvoir explicatif à la variation de l'abondance de l'éperlan 0+. De fait, ces modèles ne sont pas retenus lors du processus de sélection. Néanmoins, le meilleur modèle de cette sous-sélection ajoute, à l'habituelle abondance des saumoneaux, la température moyenne de l'eau en mai et l'abondance des grands omiscos (> 40 mm) pour expliquer 80% de la variation de l'abondance des éperlans 0+. Il faut cependant souligner le possible biais statistique, le nombre d'observations étant trop petit ($n = 13$) par rapport au nombre de variables utilisées (9) dans la sélection du modèle. Ce nouveau modèle devrait cependant être révisé dans le futur, avec une série d'abondance de grands omiscos plus longue.

LE MODÈLE CONCEPTUEL DU RECRUTEMENT, EN RÉSUMÉ

La figure 12 résume les facteurs abiotiques (hydrologie, conditions météorologiques) et biotiques (prédation, relations intraspécifiques et interspécifiques) pour lesquels il a été possible de mettre en évidence des effets sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel.

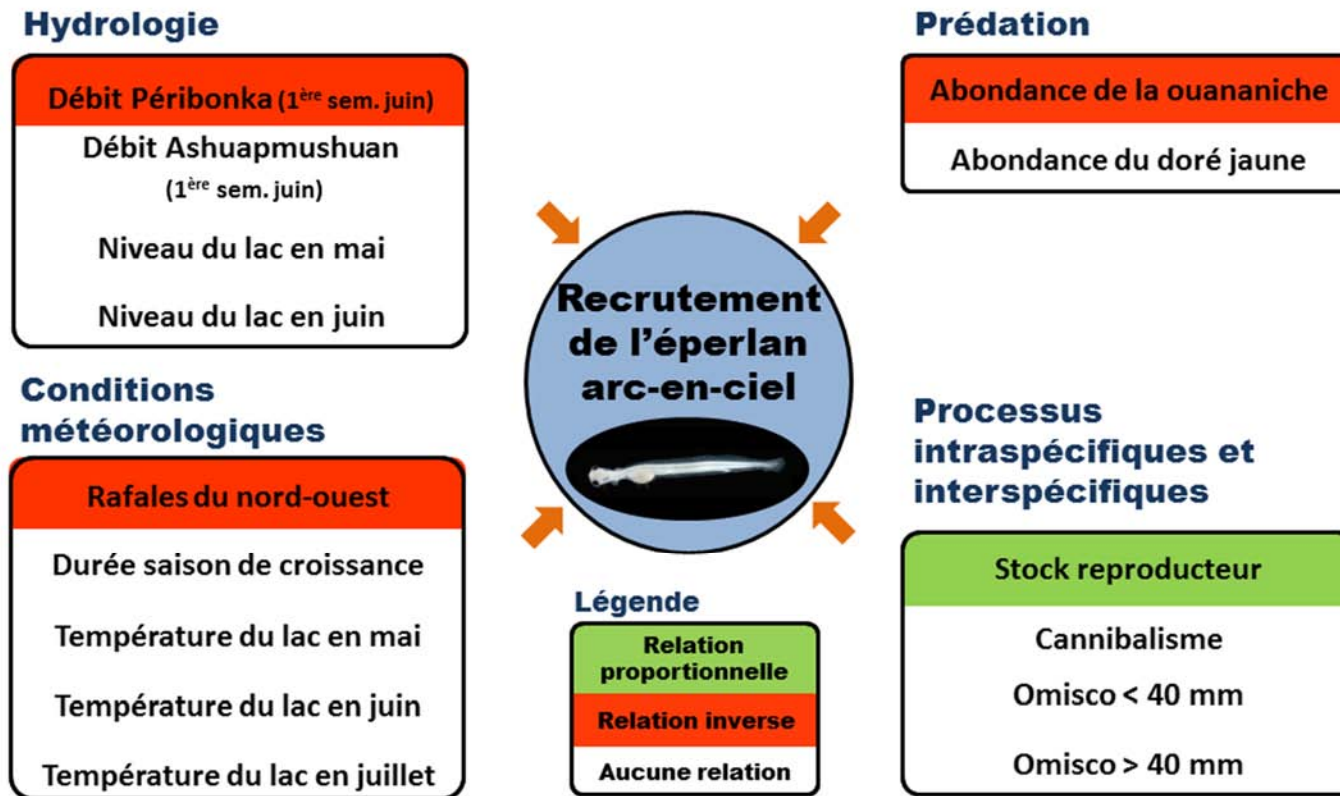


Figure 12 : Résumé des facteurs qui influencent le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

En résumé, les résultats indiquent que l'abondance des larves d'éperlan est initialement reliée à l'abondance du stock reproducteur et au débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin (figure 13). Ces facteurs exercent leur influence lorsque l'éperlan est au stade d'œuf et dans les premiers jours de vie des larves. Un plus grand nombre de reproducteurs va générer un plus grand nombre d'œufs. Le débit de la Péribonka semble être un indicateur des conditions hydrologiques dans l'ensemble de la moitié nord du lac Saint-Jean pendant la période de présence des œufs et d'éclosion des larves, puisque le recrutement de l'éperlan est faible les années de forts débits de la rivière. La fréquence des rafales du nord-ouest a, quant à elle, un effet défavorable sur le recrutement en modifiant le patron de dispersion des larves nouvellement écloses. Enfin, la prédation par les saumoneaux joue un rôle prédominant sur la survie des éperlans 0+, qui se poursuit probablement jusqu'à l'été suivant. L'état actuel des connaissances ne permet pas d'exclure ni d'établir un lien entre la prédation par le doré jaune et le recrutement de l'éperlan.

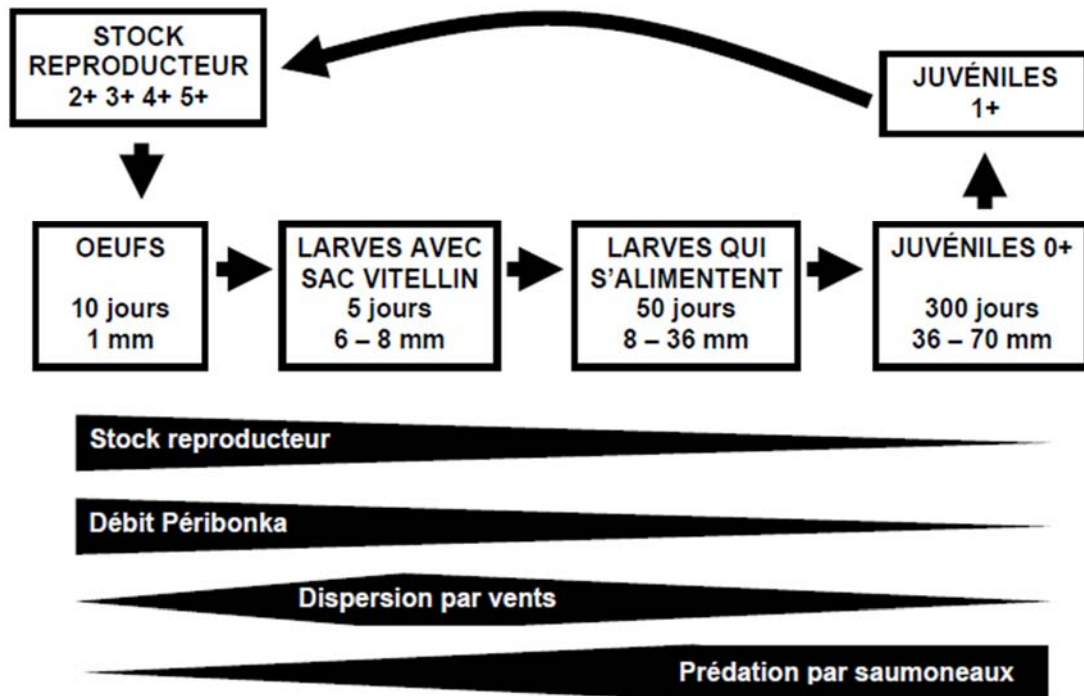


Figure 13 : Modèle conceptuel révisé du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean.

La contribution relative de chacun des facteurs varie d'année en année. Cette contribution semble fixée par les valeurs extrêmes observées pour chacun d'eux (détaillé dans Sirois 2005). Par exemple, lorsque l'abondance des saumoneaux est très élevée, la contribution des autres facteurs sur le recrutement de l'éperlan décroît. Lorsqu'un autre facteur présente une valeur extrême (p. ex. forte proportion de vent en provenance du nord-ouest), son influence sur le recrutement de l'éperlan augmente. La contribution relative de ce même facteur peut être faible ou même nulle lorsque sa valeur se situe autour de la moyenne.

CONCLUSION

Ce rapport révisé le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean, fondé sur une trentaine d'années de données. L'ajout de dix années de données au modèle initial a permis de raffiner les connaissances sur les effets de la prédation, de l'hydrologie, des conditions météorologiques et des processus intraspécifiques et interspécifiques. Les nouvelles analyses ont apporté des informations pertinentes, notamment sur la dispersion des larves par les vents dominants en juin, l'absence d'influence significative du cannibalisme sur la survie des éperlans 0+ et l'effet potentiel de la prédation par le doré jaune. Les effets de la prédation par le doré pourront être précisés dans les prochaines années à partir des résultats des pêches expérimentales quinquennales du MFFP.

Les résultats de la régression linéaire multiple montrent qu'il est encore impossible de développer un modèle quantitatif prédictif de l'abondance de l'éperlan à partir de l'ensemble des facteurs testés. À ce jour, l'abondance des saumoneaux demeure le principal facteur permettant de prédire l'abondance de l'éperlan. Le couplage de cette variable avec le débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin permet toutefois d'améliorer le modèle.

Le modèle conceptuel actualisé représente un outil de décision scientifique, concernant la gestion des ressources halieutiques du lac Saint-Jean. Certains leviers de gestion peuvent contribuer à améliorer le recrutement de l'éperlan : le respect des cibles de montaison des ouananiches en rivières (afin d'éviter la pression extrême de prédation provoquée par une surabondance de saumoneaux) et l'amélioration de la production d'éperlan.

La durée de la saison de pêche à la ouananiche et la récolte potentielle sont modulées en fonction de l'abondance attendue de la ressource en regard des cibles de montaisons en rivière. Ces cibles garantissent une abondance optimale de la ouananiche compte tenu de la production de l'éperlan. Par ailleurs, la CLAP a aménagé durant l'hiver 2017 vingt-cinq îlots rocheux sur un haut-fond à l'est de l'embouchure de la rivière Mistassini, afin de

bonifier la survie des œufs. Ces aménagements visent à augmenter la production naturelle de l'éperlan.

RÉFÉRENCES

- Begon, M., C. R. Townsend et J. L. Harper. 2005 Ecology: from individuals to ecosystems, 4th edition. Wiley-Blackwell. 750 p.
- Bérubé, A. 2005. Mortalité hivernale de l'éperlan arc-en-ciel d'eau douce. Mémoire présenté à l'UQAC comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables. Université du Québec à Chicoutimi. 45 p.
- Colby, P. J., R. E. McNicol et R. A. Ryder. 1979. Synopsis of biological data on the walleye *Stizostedion v. vitreum* (Mitchill 1818). Food and Agriculture Organization of the United Nations. 139 p.
- Fortin, A.-L. 2002. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des jeunes éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 107 p.
- Fortin, A.-L., P. Sirois et M. Legault. 2009. Synthèse et analyse des connaissances sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Laboratoire des sciences aquatiques et ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats. 137 p.
- Gagnon, K. 2005. Distribution et abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au lac Saint-Jean. Mémoire présenté à l'UQAC comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 98 p.
- Jones M.L., Netto J.K., Stockwell J.D. et Mion J.B. 2003. Does the value of newly accessible spawning habitat for walleye (*Stizostedion vitreum*) depend on its location relative to nursery habitats? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 60: 1527-1538.

- He, X., et G. W. LaBar. 1994. Interactive effects of cannibalism, recruitment, and predation on rainbow smelt in lake Champlain: a modeling synthesis. *Journal of Great Lakes Research* 20: 289-298.
- Houde E.D. 2008. Emerging from Hjort's Shadow. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 41: 53-70.
- Kircheis F.W. et Stanley J.G. 1981. Theory and Practice of Forage-Fish Management in New England. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110: 729-737.
- Lantry, B. F. et D. J. Stewart. 2000. Population dynamics of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in Lakes Ontario and Erie: a modeling analysis of cannibalism effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 1594-1606.
- Leclerc M. 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis: application au lac Saint-Jean (Québec). Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur-ingénieur, Université de technologie de Compiègne, 294 p.
- Lefebvre R. 2003. Régime alimentaire de la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean (1997-2002). Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Saguenay, 57 p.
- Legault, M. 1998. Élaboration d'une méthode d'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du Lac Saint-Jean. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Direction de la faune et des habitats. 26 p.
- Lévesque, S. 2012. La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole: étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 111 p.

- Lévesque, S. et P. Sirois. 2013. Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 59 p.
- Lévesque S. et P. Sirois. 2015. Confirmation d'un habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 27 p.
- MacKenzie B.R. et KiØrboe T. 2000. Larval fish feeding and turbulence: A case for the downside. *Limnology and Oceanography*, 45: 1-10.
- Mahy, G. 1975. Contributions à la biologie de la ouananiche. Groupe Biologie aquatique. Centre de Recherche du Moyen-Nord. Université du Québec à Chicoutimi. 143 p.
- Mion J.B., Stein R.A. et Marschall E.A. 1998. River discharge drives survival of larval walleye. *Ecological Applications*, 8: 88-103.
- Nadon, L. 1991. Régime alimentaire et croissance de la ouananiche (*Salmo salar* L.) du lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 97 p.
- Parker Stetter, S. L., J. L. S. Thomson, L. G. Rudstam, D. L. Parrish et P. J. Sullivan. 2007. Importance and predictability of cannibalism in rainbow smelt. *Transactions of the American Fisheries Society* 136: 227-237.
- Plourde, J. 2011. Prédation planctonique des deux principaux poissons fourrages pélagiques du lac Saint-Jean: l'éperlan arc-en-ciel et l'omisco. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. Chicoutimi.

- Plourde, J., A.-L. Fortin et K. Gagnon. 2013. Étude sur la fécondité des ouananiches capturées dans les principales rivières du lac Saint-Jean. Direction de l'expertise Énergie-Faune-Forêts-Mines-Territoire du Saguenay-Lac-Saint-Jean. 14 p.
- Plourde-Lavoie, P. et P. Sirois. 2016. Revue et synthèse de la littérature scientifique sur la reproduction et les habitats des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi. 124 p.
- Quist, M. C., C. S. Guy, R. J. Bernot et J. L. Stephen. 2002. Seasonal variation in condition, growth and food habits of walleye in a Great Plains reservoir and simulated effects of an altered thermal regime. *Journal of Fish Biology* 61: 1329-1344.
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org> : R Foundation for Statistical Computing.
- Ricker W.E. 1954. Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.
- Ricker, W. E. 1980. Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. Bulletin de l'office des recherches sur les pêcheries du Canada, Gouvernement du Canada, Pêches et Océans Canada, Ottawa. 408 p.
- Sirois, P. 2005. Recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi. 18 p.
- Sirois, P., A. Marion, J. Plourde, S. Plourde et M. Legault. 2011. Carrying capacity of Lake Saint-Jean for rainbow smelt. Dans: Enterline C. Eds., *Proceedings of the Fourth North American workshop on rainbow smelt*, Portland, Maine. Maine Department

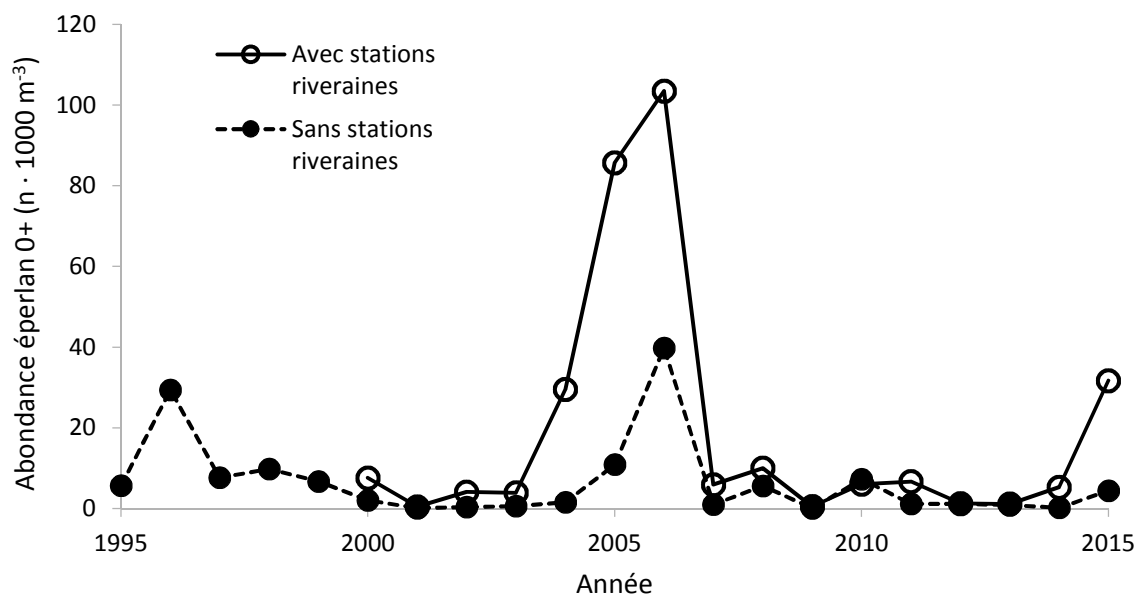
of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish and Game and Massachusetts Division of Marine Fisheries. 84 p.

Tremblay, G. 2004. Impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au Lac Saint-Jean Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables. Université du Québec à Chicoutimi. 83 p.

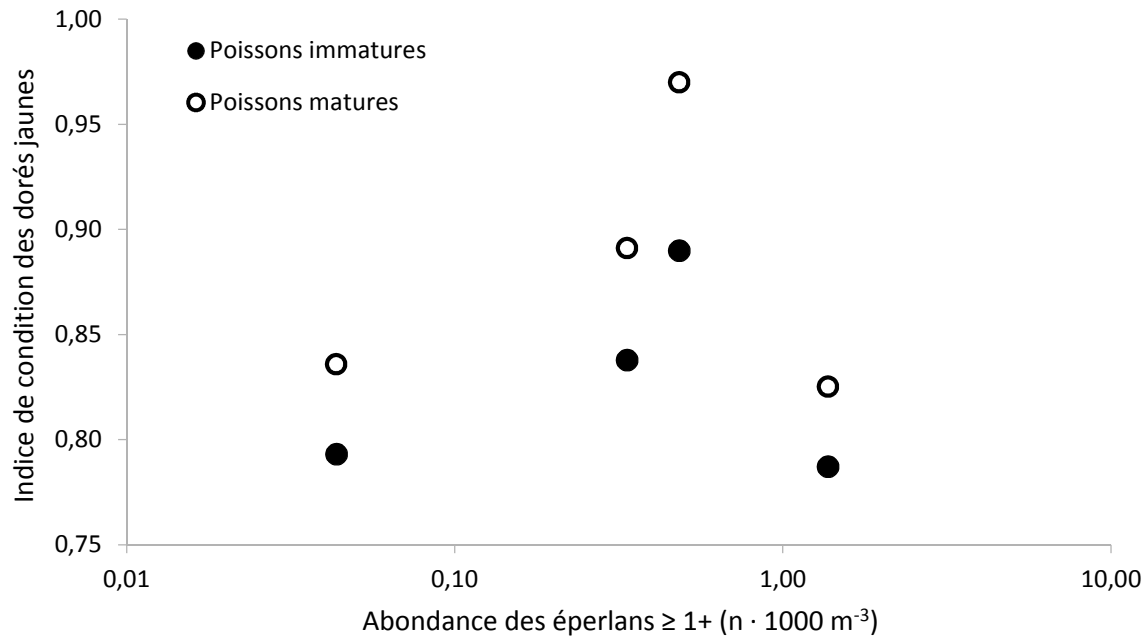
Verschelden, M.-C. 2009. Estimation des retombées économiques de la pêche sportive au lac Saint-Jean et dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean en 2008. Atouts Conseils inc., 22 p.

Ward, M. J., D. W. Willis, B. H. Miller et S. R. Chipps. 2007. Walleye consumption and long-term population trends following gizzard shad introduction into a western South Dakota Reservoir. *Journal of Freshwater Ecology* 22: 339-345.

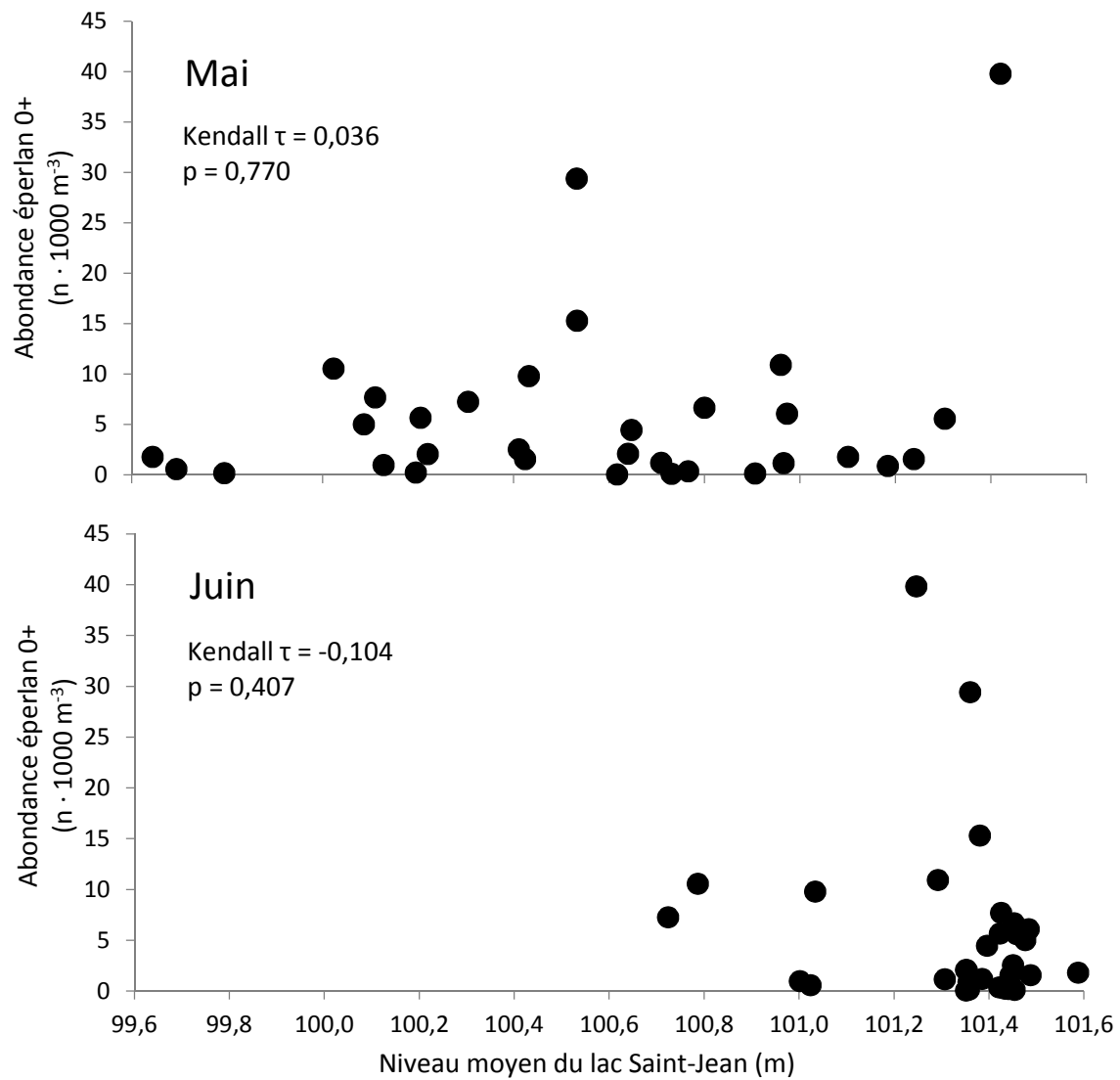
ANNEXES



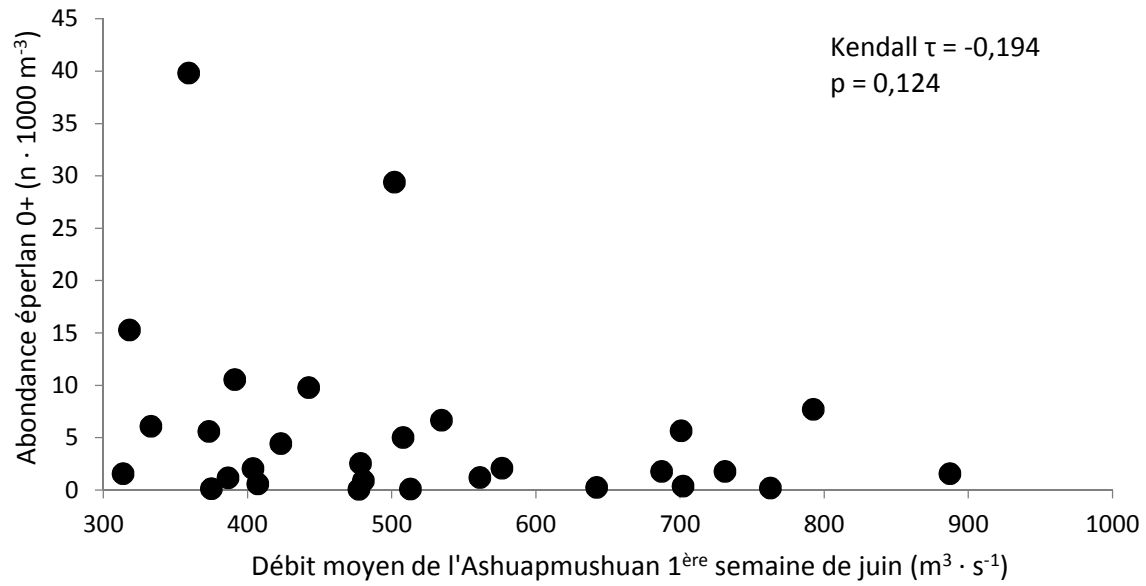
Annexe 1 : Comparaison de l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ de 1995 à 2015 mesurée sans et avec les données des stations riveraines. Les stations riveraines ont été ajoutées au suivi en 2000.



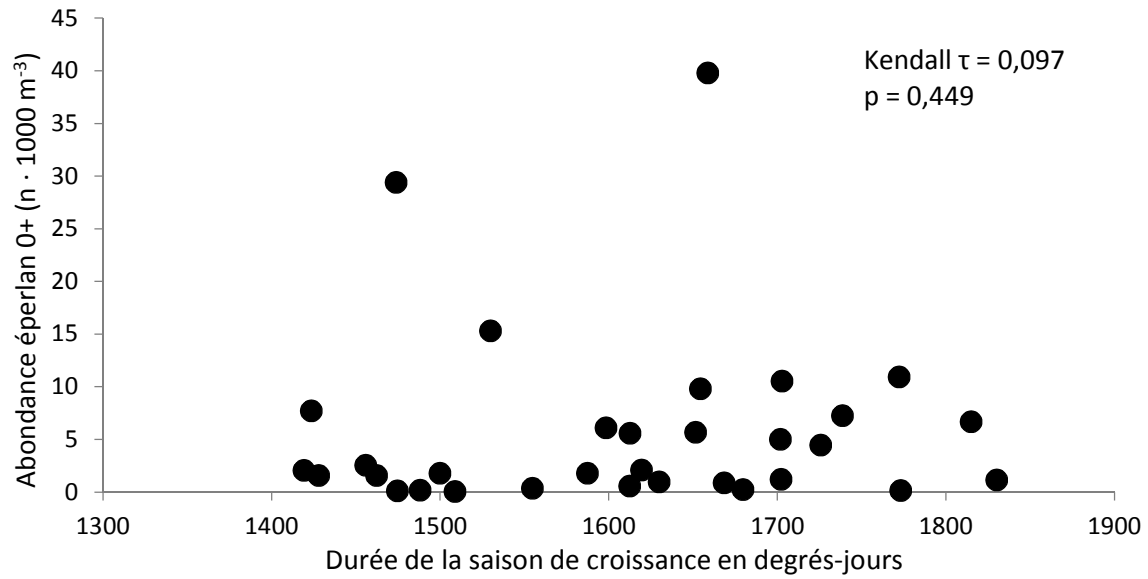
Annexe 2 : Relation entre l'indice de condition de Fulton des dorés jaunes matures (points blancs) et immatures (points noirs) et l'abondance des éperlans arc-en-ciel d'un an et plus.



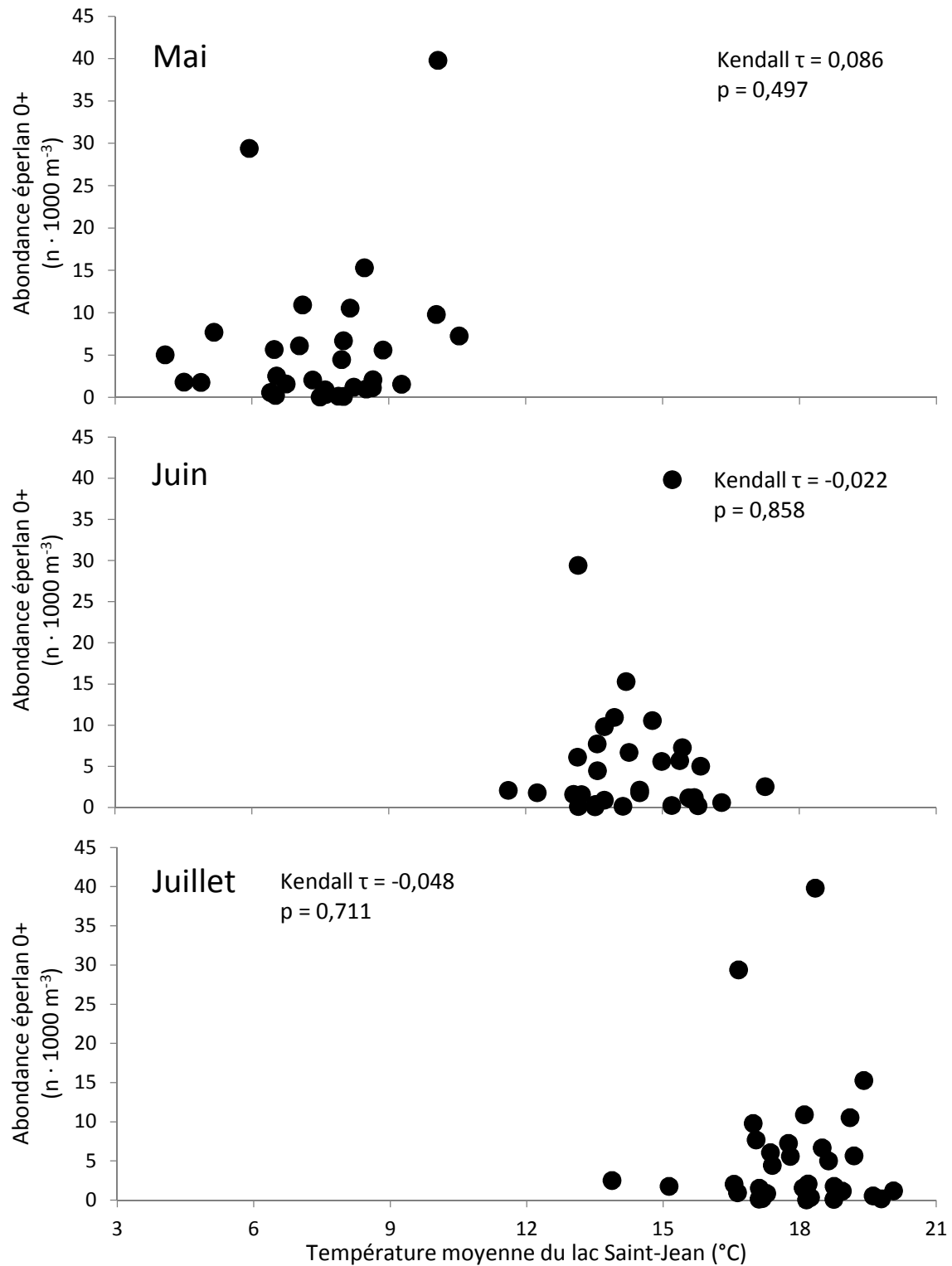
Annexe 3 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le niveau moyen du lac Saint-Jean pour les mois de mai et juin, de 1984 à 2015.



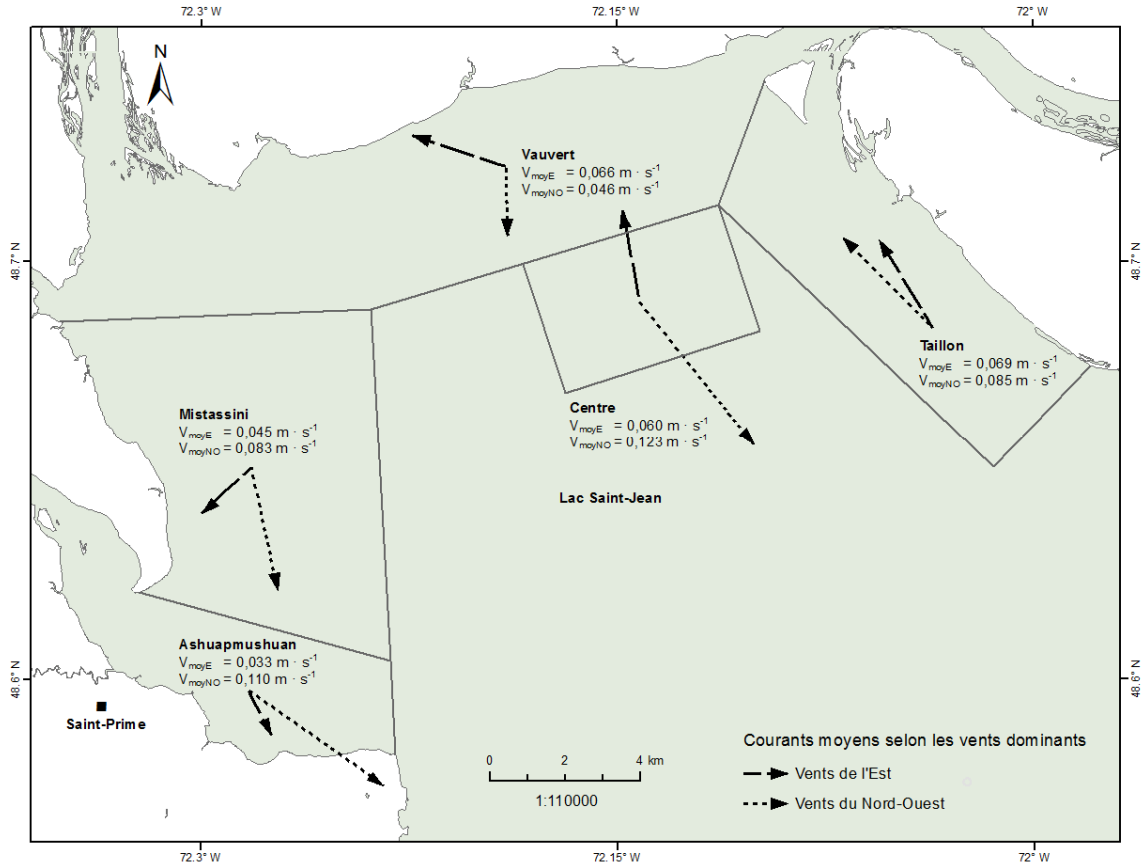
Annexe 4 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et le débit moyen de la rivière Ashuapmushuan au cours de la première semaine de juin, de 1984 à 2015.



Annexe 5 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et la durée de la saison de croissance en degrés-jours au-dessus de 5 °C, de 1984 à 2015.



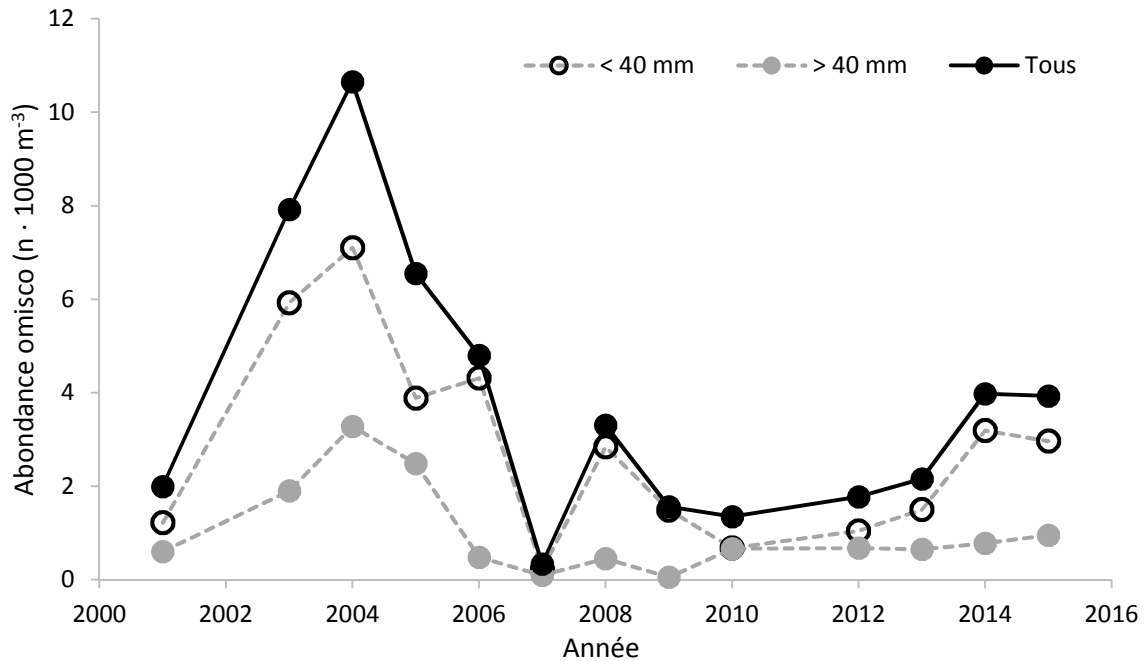
Annexe 6 : Corrélation entre l'abondance des éperlans 0+ et la température moyenne du lac Saint-Jean pour les mois de mai, juin et juillet, de 1984 à 2015.



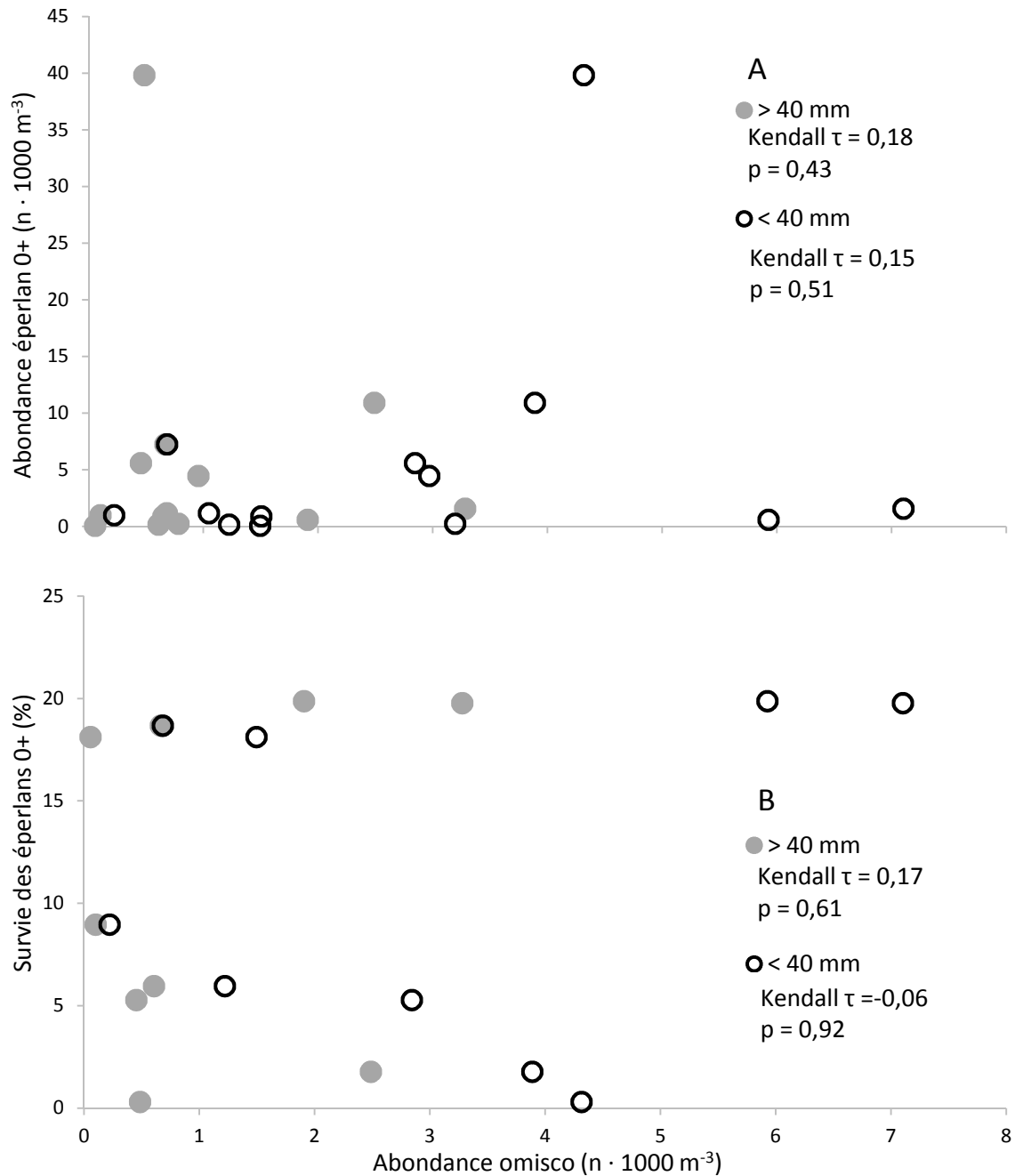
Annexe 7 : Représentation des courants moyens dans différents secteurs du lac Saint-Jean en fonction de la direction d'origine des vents les plus fréquents. L'échelle des vecteurs de courants est indépendante de celle de la carte. Les tirets longs montrent les courants associés aux vents de l'est alors que les tirets fins montrent les courants associés aux vents du nord-ouest. Tiré de Lévesque et Sirois (2013).

Annexe 8 : Comparaison de l'ordre de grandeur des minimums et maximums d'abondance lors d'échantillonnage des éperlans 1+ dans les lacs Saint-Jean, Memphrémagog, et Champlain.

Lac	Abondance ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$)		Période (années)	Référence
	Minimale	Maximale		
Saint-Jean	0,01	1,36	20 ans, de 1996 à 2017	MFFP, données non publiées
Memphrémagog	0,70	7,53	5 ans, de 1996 à 2000	MFFP, données non publiées
Champlain	2	95	2 ans, de 2001 à 2002	Parker Stetter <i>et al.</i> 2007



Annexe 9 : Fluctuations annuelles de l'abondance des omiscos, de 2001 à 2015 (pas de données en 2002 et 2011). La variation d'abondance totale des omiscos est représentée par les points noirs reliés par un trait plein noir. La variation des classes de tailles est montrée par les traits gris discontinus : les cercles vides pour les omiscos plus petits que 40 mm (jeunes de l'année), et les cercles pleins gris pour les omiscos de plus de 40 mm (juvéniles et adultes).



Annexe 10 : Corrélations entre l'abondance de l'omisco (cercle vide < 40 mm et cercle plein gris > 40 mm) et (A) l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel 0+; (B) le taux de survie des éperlans 0+ jusqu'au stade 1+.